

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**ANALISIS DINAMIK DINDING PASANGAN BATU BATA RUMAH DUA LANTAI DI KOTA MALANG**” dengan baik dan lancar.

Skripsi ini merupakan persyaratan terakhir akademis yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. **Dr. Eng Indradi Wijatmiko, ST, M. Eng (Prac.)** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. **Dr. Ir. Wisnumurti, MT** selaku KKDK Struktur dan Dosen Pembimbing 2 Skripsi.
4. **Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT** selaku Dosen Pembimbing 1 Skripsi.
5. **Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT** selaku Dosen Penguji Skripsi.
6. **Segenap Dosen dan Karyawan** di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. **Keluarga Saya** yang selalu memberi semangat dan selalu mendukung.
8. **Rekan-rekan tim penelitian dan skripsi**, Jovan Luke Raharjo, Aditya Chelievan, Naadiyah Widyadhana Pertiwi, Mia Audina Natalis, Chrysantia Amriani, dan Fajrina Zata Yumni yang telah bekerja sama dan berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi.
9. **Rekan-rekan KKN-P, PKL Yahud!**, Ahmad Agus S., Arinda Rahma, Isnana Puspitasari, Thiya Fiantika dan Septiyan Candra, yang telah berproses bersama untuk memperdalam ilmu pengetahuan di lapangan.
10. **Angkatan 2014** dan KBMS Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
11. **Teman-teman Himpunan Mahasiswa Sipil** Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
12. **Anti Hura-Hura Club** yang selalu mendukung dan menyemangati dalam segala keadaan hingga penelitian ini terselesaikan.

13. Dan semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan skripsi ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan sipil.

Malang, 8 Mei 2018

Archi Aditya

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	1
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Tujuan .....	3
1.6 Manfaat penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Umum .....	5
2.2 Bangunan Pasangan Batu Bata Terkekang ( <i>Confined Masonry</i> ).....	5
2.3 Batu Bata Merah .....	6
2.3.1 Dimensi.....	6
2.3.2 Kuat tekan.....	6
2.3.3 Modulus elastisitas .....	8
2.3.4 Modulus dan tegangan geser .....	9
2.3.5 Masa jenis .....	9
2.3.6 Rasio poisson.....	10
2.4 Mortar .....	10
2.4.1 Pengaruh tebal mortar.....	11
2.4.2 Pengaruh kekuatan mortar .....	12
2.5 Elemen Struktur .....	13
2.5.1 Kolom praktis ( <i>tie-column</i> ) .....	13
2.5.2 Balok pengikat ( <i>tie-beam</i> ) .....	13
2.5.3 Balok latei.....	14
2.5.4 Sengkang .....	15
2.5.5 Pondasi.....	16

2.6	Kekakuan .....	17
2.7	Gempa Bumi .....	17
2.8	Analisis Seismik.....	18
2.8.1	Analisis respon spektrum.....	18
2.8.2	Analisis modal derajat kebebasan majemuk.....	20
2.9	Hipotesis penelitian.....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>23</b>
3.1	Penggunaan <i>Software</i> .....	23
3.2	Pemodelan Rumah .....	23
3.3	Karakteristik Material yang Digunakan.....	27
3.3.1	Dinding batu bata merah.....	27
3.3.2	Balok dan kolom.....	27
3.3.3	Pelat lantai .....	27
3.3.4	Pondasi.....	27
3.4	Pembebanan .....	28
3.4.1	Beban mati.....	28
3.4.2	Beban hidup.....	28
3.4.3	Beban gempa rencana.....	28
3.4.4	Kombinasi pembebanan .....	28
3.5	Prosedur Analisis .....	29
3.6	Diagram Alur Penelitian .....	30
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>31</b>
4.1	Berat Lantai Dan Kekakuan Dinding.....	31
4.1.1	Berat lantai.....	31
4.1.2	Kekakuan dinding.....	36
4.2	Analisis Dinamik MDOF.....	41
4.2.1	Arah X .....	41
4.2.1	Arah Y .....	45
4.3	Tegangan Dinding.....	49
4.3.1	Eksentrisitas.....	50
4.3.2	Distribusi tegangan .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>59</b>
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>61</b>

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
<b>Tabel 2.1</b>	Modul batu bata merah .....	6
<b>Tabel 2.2</b>	Kuat tekan batu bata merah 4 x 4 x 4 cm.....	7
<b>Tabel 2.3</b>	Karakteristik kuat tekan dengan metode SNI .....	7
<b>Tabel 2.4</b>	Kuat tekan bata merah berdasarkan asal bata merah .....	8
<b>Tabel 2.5</b>	Modulus elastisitas batu bata merah di daerah Malang .....	9
<b>Tabel 2.6</b>	Modulus geser dari berbagai daerah .....	9
<b>Tabel 2.7</b>	Masa jenis batu bata di sekitar kota Malang.....	10
<b>Tabel 2.8</b>	Rasio poisson pasangan batu bata merah.....	10
<b>Tabel 2.9</b>	Pengaruh tebal mortar pada kekuatan dinding.....	12
<b>Tabel 2.10</b>	Parameter respons spektral percepatan Kota Malang pada tanah keras .....	19
<b>Tabel 2.11</b>	Hubungan spektra percepatan dan waktu pada tanah keras.....	19
<b>Tabel 3.1</b>	Karakteristik batu bata merah yang digunakan.....	27
<b>Tabel 3.2</b>	Dimensi balok dan kolom .....	27
<b>Tabel 3.3</b>	Beban mati yang digunakan.....	28
<b>Tabel 4.1</b>	Perhitungan kekakuan dinding lantai 1 arah X.....	37
<b>Tabel 4.2</b>	Perhitungan kekakuan dinding lantai 1 arah Y .....	38
<b>Tabel 4.3</b>	Perhitungan kekakuan dinding lantai 2 arah X.....	39
<b>Tabel 4.4</b>	Perhitungan kekakuan dinding lantai 2 arah Y .....	40
<b>Tabel 4.5</b>	Perhitungan faktor partisipasi mode arah X .....	44
<b>Tabel 4.6</b>	Gaya gempa pada dinding arah X.....	45
<b>Tabel 4.7</b>	Perhitungan mode partisipasi faktor arah Y .....	48
<b>Tabel 4.8</b>	Gaya gempa pada dinding arah Y .....	49
<b>Tabel 4.9</b>	Perhitungan titik pusat berat lantai .....	51
<b>Tabel 4.10</b>	Perhitungan titik pusat kekakuan lantai .....	51
<b>Tabel 4.11</b>	Distribusi gaya untuk setiap dinding .....	55
<b>Tabel 4.12</b>	Tegangan geser dinding .....	56

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Grafik distribusi kuat tekan 4 x 4 x 4 cm .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Grafik distribusi kuat tekan dengan metode SNI .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Siar tegak dan siar kasuran.....	11
<b>Gambar 2.4</b>	Grafik hubungan tegangan regangan .....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Konstruksi tie-beam .....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Detail tie-beam .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Sambungan balok dan kolom pengikat pada level atap .....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Dimensi balok latei .....	15
<b>Gambar 2.9</b>	Detail sengkang .....	15
<b>Gambar 2.10</b>	Pengurangan jarak antar sengkang pada ujung kolom .....	16
<b>Gambar 2.11</b>	Detail pondasi untuk bangunan pasangan batu bata merah .....	16
<b>Gambar 2.12</b>	Grafik spektrum respons Kota Malang pada tanah keras.....	20
<b>Gambar 2.13</b>	Model matematis.....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Lokasi jalan karangampel timur.....	23
<b>Gambar 3.2</b>	Denah rumah .....	24
<b>Gambar 3.3</b>	Tampak depan rumah.....	24
<b>Gambar 3.4</b>	Detail struktur dan dinding tampak depan .....	25
<b>Gambar 3.5</b>	Detail struktur dan dinding tampak samping .....	26
<b>Gambar 4.1</b>	Visualisasi rumah keseluruhan.....	31
<b>Gambar 4.2</b>	Luas balok lantai .....	32
<b>Gambar 4.3</b>	Luas dinding lantai 1 .....	32
<b>Gambar 4.4</b>	Luas kolom lantai 1 .....	33
<b>Gambar 4.5</b>	Luas dinding lantai 2.....	33
<b>Gambar 4.6</b>	Luas kolom lantai 2.....	34
<b>Gambar 4.7</b>	Luas dinding atap .....	34
<b>Gambar 4.8</b>	Luas beton atap .....	35
<b>Gambar 4.9</b>	Luas genteng .....	35
<b>Gambar 4.10</b>	Penomoran dinding lantai 1 arah X.....	37
<b>Gambar 4.11</b>	Penomoran dinding lantai 1 arah Y.....	38
<b>Gambar 4.12</b>	Penomoran dinding lantai 2 arah X.....	39

<b>Gambar 4.13</b>	Penomoran dinding lantai 2 arah Y.....	40
<b>Gambar 4.14</b>	Model matematis rumah dua lantai arah X .....	41
<b>Gambar 4.15</b>	Mode shape 1 arah X.....	42
<b>Gambar 4.16</b>	Mode shape 2 arah X.....	43
<b>Gambar 4.17</b>	Model matematis rumah dua lantai arah Y .....	45
<b>Gambar 4.18</b>	Mode shape 1 arah Y.....	47
<b>Gambar 4.19</b>	Mode shape 2 arah Y.....	48
<b>Gambar 4.20</b>	Jarak titik pusat kekakuan dan berat dinding .....	50
<b>Gambar 4.21</b>	Eksentrisitas lantai .....	52
<b>Gambar 4.22</b>	Momen akibat eksentrisitas .....	53
<b>Gambar 4.23</b>	Jarak antara pusat dinding dan pusat kekakuan lantai .....	54
<b>Gambar 4.24</b>	Gaya pada dinding a.....	56
<b>Gambar 4.25</b>	Diagram tegangan geser dinding a .....	57
<b>Gambar 4.26</b>	Rekapitulasi tegangan geser dinding.....	58



## ABSTRAK

**Archi Aditya**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2018, Analisis Dinamik Dinding Pasangan Batu Bata Rumah Dua Lantai di Kota Malang, Dosen Pembimbing: Achfas Zacoeb, dan Wisnumurti.

Mayoritas masyarakat di Indonesia menggunakan rumah sebagai tempat tinggal, sehingga kemampuan rumah sebaiknya diperhitungkan dengan baik. Material utama yang paling banyak digunakan adalah pasangan batu bata merah, sebagai dinding yang juga menjadi struktur primer untuk rumah satu lantai maupun dua lantai. Gempa yang terjadi sering kali berdampak parah kepada rumah dibanding bangunan lain. Dalam penelitian ini, nilai tegangan geser dinding rumah dua lantai akibat dari gempa di Kota Malang dapat diketahui.

Analisis dinamik dengan derajat kebebasan majemuk digunakan dalam penelitian ini, dengan data respon spektrum gempa yang diambil dari pusat penelitian dan pengembangan pemukiman Indonesia tahun 2011. Dengan pengaruh kekakuan arah X dan Y yang berbeda, gaya yang muncul dari hasil perhitungan menunjukkan arah Y yang lebih dominan. Sehingga dalam memperhitungkan tegangan geser dinding, digunakan gaya 100% arah Y dan 30% arah X. Perbedaan letak pusat masa dan kekakuan rumah juga menimbulkan eksentrisitas yang berakibat munculnya momen. Dalam penelitian ini gaya akibat momen sangat besar dibandingkan dengan gaya akibat gempa murni, sehingga eksentrisitas merupakan hal yang patut menjadi perhatian dalam perhitungan gempa.

Mengacu pada penelitian terdahulu, tegangan geser maksimum yang dapat diterima pasangan dinding batu bata merah yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 1,69 kg/cm. Rata-rata dari tegangan geser yang diterima oleh dinding rumah dua lantai akibat gempa di Kota Malang sebesar 1,58 kg/cm<sup>2</sup>.

**Kata-kata Kunci:** rumah, pasangan batu bata merah, tegangan geser, eksentrisitas, derajat kebebasan majemuk.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## ABSTRACT

**Archi Aditya**, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2018, Dynamic Analysis of Clay Brick Masonry Walls of Two Storey House in Malang City, Academic Supervisor: Achfas Zacoeb, and Wisnumurti.*

Most of people in Indonesia use houses as a building to live in, because of that the capability of their house should be designed well. Major material that is used to build one or two-storey house is masonry, as house walls that also become primary structure instead of secondary structure. Earthquakes that had happened, often impact more on non-engineered buildings (houses) rather than engineered buildings. In this study, shear stress of two storey masonry houses because of an earthquake in Malang city can be determined.

Dynamic analysis with multiple degrees of freedom is used in this case, the response spectrum data is taken from R & D Center for Housing and Settlement Indonesia 2011. The influence of different stiffness on X and Y direction give a result that the dominant force occurs on Y path. Therefore, in the calculation of shear stress for every wall, formula 100% of Y and 30% of X is counted. The different of the center of mass and the center of stiffness on storey also produce eccentricity that makes moment as the result. From this study, the force caused from moment is larger than the force caused by the earthquake itself. From this reason, eccentricity become deliberate things to observe whenever earthquake become an object to discuss.

Based on the former research, the maximum shear stress of masonry walls which is applied to this study is 1,69 kg/cm. The average of shear stress that clay brick masonry walls of two-storey house receives in this research is 1,58 kg/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** *house, masonry, shear stress, eccentricity, multiple degree of freedom*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tempat tinggal merupakan salah satu dari kebutuhan primer manusia, rumah adalah tempat tinggal yang paling umum digunakan oleh masyarakat di Indonesia. Rumah tinggal menjadi penunjang utama masyarakat sebagai tempat beristirahat maupun beraktivitas, sehingga kemampuan atau kapasitas rumah perlu dikaji demi kelancaran kegiatan dan kenyamanan masyarakat.

Indonesia adalah salah satu negara yang letaknya dekat dengan pertemuan lempeng besar bumi, hal ini menyebabkan gempa sering terasa dan berimbas pada bangunan. Mayoritas bangunan yang rusak akibat gempa adalah rumah, sedangkan gedung-gedung tinggi relatif mampu bertahan karena kemampuan gedung sudah diperhitungkan dengan matang. Maka dari itu perlu dipikirkan solusi untuk membuat rumah yang dapat bertahan dari gempa tanpa perhitungan khusus oleh ahli.

Kota Malang dengan koordinat  $112,06^{\circ}$ - $112,07^{\circ}$  Bujur Timur dan  $7,06^{\circ}$ - $8,02^{\circ}$  Lintang Selatan, terletak di dataran tinggi dan memiliki jumlah penduduk sekitar 900.000 jiwa pada tahun 2017. Menurut SNI-1726-2002, kota yang cukup padat ini berada pada wilayah gempa 4 dengan percepatan batuan dasar 0,2 g.

Seiring dengan berkembangnya inovasi dan kreativitas yang semakin pesat, tak jarang rumah digunakan untuk menarik minat masyarakat. Rumah dengan tata ruang yang beraneka ragam tentu mempunyai pengaruh bagi kekokohan rumah tersebut, sehingga perlu dikaji untuk mengetahui kapasitasnya.

Rumah di Kota Malang sebagian besar menggunakan dinding dengan bahan komposit batu bata merah dan mortar sebagai bahan perekatnya. Dinding bukan menjadi sekadar pemisah ruang saja, melainkan juga menjadi penunjang kekokohan dalam sebuah rumah. Namun dalam kenyataannya, perencanaan dan pembuatan dinding seringkali kurang diperhatikan oleh banyak orang, hal ini mengakibatkan rentan terjadinya kerusakan rumah ketika gempa terjadi.

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Dinding rumah menjadi komponen yang pertama kali terpengaruh bila terjadi kerusakan saat gempa terjadi (Wisnumurti dkk, 2011), dengan adanya inovasi bentuk rumah, pengaruh kepada kapasitas dinding akan berubah. Ketentuan-ketentuan yang

digunakan selama ini juga tidak menentu, gempa yang mungkin terjadi juga tidak dapat diprediksi secara tepat kekuatannya. Sehingga perlu dilakukan analisis dinamik mengenai dinding rumah tinggal dua lantai terhadap gempa Kota Malang.

### **1.3 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas, maka didapatkan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa tegangan dinding terbesar rumah dua lantai terhadap gempa di Kota Malang?
2. Bagaimana dampak dinding rumah dua lantai dalam menahan gempa di Kota Malang?

### **1.4 Batasan Masalah**

Karena luasnya permasalahan dan persepsi yang berbeda-beda, maka dalam penelitian ini diberi batasan masalah sebagai berikut:

1. Rumah dalam penelitian ini adalah rumah tinggal dua lantai yang direncanakan pada Jalan Karangampel Timur, Malang, Jawa Timur.
2. Hanya dilakukan analisis dalam keadaan elastis.
3. Tidak memperhitungkan beban angin.
4. Stabilitas bangunan akibat penggunaan gewel diabaikan.
5. Karakteristik bahan yang digunakan didasari oleh penelitian terdahulu, diasumsikan sama dengan kondisi terkini.
6. Material yang digunakan diasumsikan homogen isotropis pasangan batu bata merah.
7. Kondisi tanah diasumsikan tanah keras.
8. Tidak memperhitungkan tangga.
9. Tidak membahas mengenai reaksi kimia dan analisis keekonomisan.

### **1.5 Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dinding rumah dua lantai terhadap gempa di Kota Malang. Sehingga didapatkan kesimpulan mengenai kemampuan dinding atau bahan komposit batu bata merah dan mortar dalam menahan gempa. Tujuan yang lebih spesifik dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung tegangan terbesar yang diterima oleh dinding bata merah pada rumah dua lantai akibat gempa di Kota Malang.
2. Mengetahui dampak dinding rumah dua lantai dalam menahan gempa di Kota Malang.

### **1.6 Manfaat penelitian**

Penulis berharap dengan adanya penelitian ini, dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Bagi penulis: dapat lebih memahami kelakuan bahan dalam menerima gempa
2. Bagi pembaca: memperdalam ilmu pengetahuan mengenai dinding rumah, gempa dan analisis dinamik
3. Bagi praktisi lapangan: sebagai referensi dalam pertimbangan perencanaan rumah tahan gempa di Kota Malang

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Rumah merupakan kebutuhan primer manusia yang dibutuhkan sebagai penunjang kehidupan. Dinding memiliki peranan besar dalam menerima gaya gempa, hal ini dapat diketahui saat gempa terjadi, sering kali dinding menjadi komponen pertama yang mengalami kerusakan. Suatu rumah secara keseluruhan disebut telah runtuh ketika dinding rumah tersebut telah mengalami keruntuhan. Kualitas material utama yang digunakan untuk membuat dinding, dalam hal ini adalah batu bata merah di Kota Malang, memiliki kualitas yang beraneka ragam dan berbeda dari acuan yang digunakan sebagai standar (Wisnumurti dkk, 2011).

Kapasitas dinding pasangan batu merah berkaitan erat dengan respon gempa pada suatu rumah, kekuatan dinding sebagai struktur penahan gaya gempa yang utama dapat dijadikan acuan untuk performa sebuah rumah. Analisis elastis dalam perhitungan struktur digunakan agar hasil respon struktur diketahui tetap dalam keadaan yang linier. Analisis dinamik sederhana dengan model *Multiple Degree of Freedom (MDOF)* digunakan untuk mencari nilai dari periode hingga gaya gempa tiap lantai.

#### **2.2 Bangunan Pasangan Batu Bata Terkekang (*Confined Masonry*)**

Struktur bangunan pasangan batu bata terkekang (*confined masonry building*), secara garis besar terdiri dari dinding pasangan bata dan perkuatan horisontal dan vertikal dari beton bertulang yang dibangun di keempat sisi dindingnya. Perbedaan yang mencolok dengan yang tidak terkekang yaitu komponen perkuatan beton bertulang diselesaikan setelah dinding pasangan bata telah dibuat. Dinding menyalurkan beban gravitasi dari plat menuju ke pondasi ditunjang oleh kolom. Sebagai dinding pengaku yang menahan gaya gempa horisontal, dinding harus diperkuat dengan komponen balok dan kolom disekelilingnya dan tidak diperkenankan adanya lubang yang signifikan untuk memperoleh performa yang baik. Elemen beton bertulang (balok dan kolom) efektif dalam menunjang stabilitas dan integritas dinding akibat gempa. Elemen ini mencegah dinding retak ketika gempa terjadi, juga menjaga keutuhan bangunan ketika gempa yang besar terjadi (EERI & IAAE, 2011)

## 2.3 Batu Bata Merah

Batu bata merah merupakan bahan material tradisional yang mayoritas diperuntukan sebagai bahan pengisi dinding. Kekuatan dari batu bata merah dipengaruhi oleh komposisi material mentah penyusunnya, temperatur, pembakaran, proses pembuatannya, serta porositasnya. Batu bata merah dibuat dari tanah liat dengan kandungan silica sebanyak 50-70%. Menurut SII 0021-78, tampak luar batu bata harus berbentuk “prisma segiempat”, mempunyai rusuk-rusuk yang tajam dan siku-siku, bidang-bidang sisi harus datar, tidak menunjukkan retak-retak, tidak mudah hancur atau patah dan perubahan bentuk yang berlebihan. Bentuk lain yang disengaja karena pencetakan diperbolehkan. Berdasarkan penelitian Wisnumurti dkk (2011), batu bata merah di Kota Malang pada tahun 2001–2009 memiliki karakteristik yang lebih rendah dari standar ASTM maupun SNI. Uji kekuatan menunjukkan hasil yang rendah dengan deformasi yang sangat besar saat awal pembebanan dilakukan.

### 2.3.1 Dimensi

Berdasarkan SNI, dimensi batu bata merah diklasifikasikan sebagaimana disebutkan dalam tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Modul batu bata merah

Modul	Dimensi			
	Tinggi (cm)	Lebar (cm)	Panjang (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )
M-5a	6,5	9,0	19,0	1111,5
M-5b	6,5	14,0	19,0	1729
M-6	5,5	11,0	23,0	1391,5

Sumber: PUBI 1982

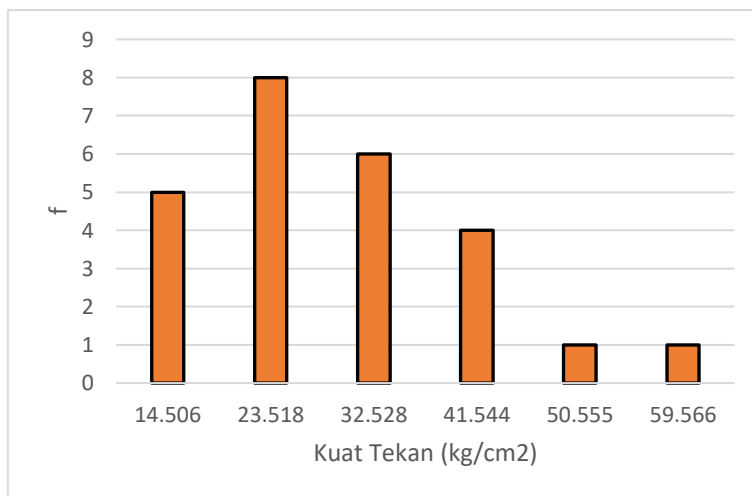
Menurut penelitian Wisnumurti dkk, Batu bata merah di kota Malang lebih mendekati ke Modul 6 dengan tinggi kurang dari yang disyaratkan, sehingga dalam penggunaannya sebagai pengisi dinding dibutuhkan mortar yang lebih banyak.

### 2.3.2 Kuat tekan

Penelitian Wisnumurti dkk (2011) mengkaji karakteristik kuat tekan batu bata merah di kota Malang dengan ukuran  $4 \times 4 \times 4$  cm pada tahun 2001–2009 dengan hasil seperti tercantum pada tabel 2.2 dengan distribusi kekuatan pada gambar 2.1.

**Tabel 2.2** Kuat tekan batu bata merah 4 x 4 x 4 cm

Parameter	Nilai
$F_m'_{rata-rata}$	28,85 kg/cm <sup>2</sup>
$F_m'_{maks}$	55,89 kg/cm <sup>2</sup>
$F_m'_{min}$	10,83 kg/cm <sup>2</sup>
Standar Deviasi	11,64 kg/cm <sup>2</sup>
Variansi	40,33 %
$F_m'_{karakteristik}$	9,768 kg/cm <sup>2</sup>

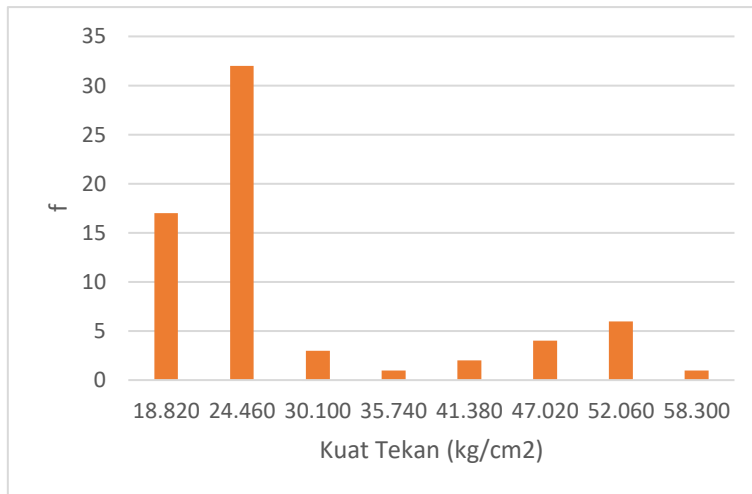
**Gambar 2.1** Grafik distribusi kuat tekan 4 x 4 x 4 cm

Sumber: Wisnumurti dkk (2013)

Dari data yang dihasilkan tersebut, terlihat bahwa nilai kuat tekan tidak memenuhi standar ASTM dan sulit untuk diklasifikasikan. Jika diuji menggunakan metode SNI, hasil yang didapatkan juga tidak jauh berbeda, dengan koefisien varian yang diatas 30%. Hasil dari penggunaan metode SNI dapat dilihat pada tabel 2.3 dengan distrubusi kekuatan pada gambar 2.2.

**Tabel 2.3** Karakteristik kuat tekan dengan metode SNI

Parameter	Nilai
$F_m'_{rata-rata}$	26,65 kg/cm <sup>2</sup>
$F_m'_{maks}$	56,31 kg/cm <sup>2</sup>
$F_m'_{min}$	16,83 kg/cm <sup>2</sup>
Standar Deviasi	9,722 kg/cm <sup>2</sup>
Variansi	36,487 %
$F_m'_{karakteristik}$	10,701 kg/cm <sup>2</sup>



**Gambar 2.2** Grafik distribusi kuat tekan dengan metode SNI  
Sumber: Wisnumurti dkk (2013)

Sebagai acuan dalam menentukan kuat tekan bata merah pada bangunan di Kota Malang, dalam penelitiannya Wisnumurti dkk (2013) tentang investigasi modulus elastisitas, kuat tekan, dan kuat geser dinding dari bata merah asal Indonesia. Kuat tekan dari berbagai daerah dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Kuat tekan bata merah berdasarkan asal bata merah

Lokasi	Kubus Tes (kg/cm <sup>2</sup> )	SII-78 (kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM
Pakis, Malang	0,29	0,41	0,54
Mojokerto	0,42	0,6	0,33
Kediri	0,3	0,38	0,64
Tulung agung	0,47	0,44	-

Sumber: Wisnumurti dkk (2013)

### 2.3.3 Modulus elastisitas

Elastisitas adalah sifat bahan yang dapat kembali ke bentuk semula apabila beban yang menyebabkan deformasi dihilangkan dan bahan itu sendiri disebut elastis. Apabila suatu bahan berperilaku elastis dan juga mempunyai hubungan linier antara tegangan - regangan, bahan ini disebut elastis linier. Limit elastis adalah tegangan pada limit atas dari daerah elastis. Tegangan pada titik ini dapat ditentukan dengan cara melakukan percobaan pembebanan dan penghilangan beban yang dilakukan berulang ulang. Tegangan di atas limit elastis, penghilangan beban menyebabkan terjadinya tegangan permanen (pertambahan panjang yang tetap).

Menurut penelitian Wisnumurti dkk, mortar merupakan hal yang sangat mempengaruhi elastisitas dinding. Hasil penelitian mengenai modulus elastisitas bata merah dapat dilihat pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Modulus elastisitas batu bata merah di daerah Malang

Lokasi	Modulus Elastisitas Bata Merah (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Modulus Elastisitas Prisma Merah (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Modulus Elastisitas Model Dinding	
			Beban Tegak Lurus (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Beban Searah (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Pakis, Malang	308,64	258,62	-	-
Gondanglagi, Malang	-	-	884,81	1275,38
Mojokerto	323,33	519,55	980,22	1804,35
Kediri	279,07	1253,65	1307,69	1675,38
Tulungagung	541,1	753,23	828,16	2206,89

Sumber: Wisnumurti dkk (2013)

### 2.3.4 Modulus dan tegangan geser

Modulus geser adalah perbandingan tegangan dan regangan arah sumbu diagonal suatu bahan, sedang tegangan geser adalah gaya geser yang diterima oleh suatu luasan penampang. Winumurti dkk (2013) meneliti tentang modulus dan tegangan geser pada pasangan dinding batu bata merah di berbagai daerah di Jawa Timur dengan model prisma. Hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Modulus dan tegangan geser dari berbagai daerah

Nomor	Asal Bata Merah	Modulus Geser (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Geser (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Pakis, Malang	258,62	-
2	Mojokerto	519,55	1,45
3	Kediri	123,65	4,03
4	Tulungagung	753,23	1,69

Sumber: Wisnumurti dkk (2013)

### 2.3.5 Masa jenis

Masa jenis merupakan perbandingan masa dengan volume. Bata merah memiliki masa jenis yang berbeda-beda (Wisnumurti dkk, 2013). Masa jenis bata merah dari beberapa daerah dapat dilihat pada tabel 2.7.

**Tabel 2.7** Masa jenis batu bata di sekitar kota Malang

No	Asal Benda Uji Bata	Masa Jenis ( gr/cm <sup>3</sup> )
1	Pakis, Malang	1,37
2	Trowulan, Mojokerto	1,45
3	Siring, Kediri	1,49
4	Wonorejo, Tulungagung	1,5

Sumber: Wisnumurti dkk (2013)

### 2.3.6 Rasio poisson

Rasio poisson adalah rasio regangan lateral terhadap regangan aksial (Indrawahyuni dkk, 2015). Untuk suatu batang yang mengalami tarik, regangan aksial adalah positif (karena bertambah panjang) dan regangan lateral negatif (karena dimensi mengecil). Sebaliknya, untuk batang yang mengalami tekan maka regangan aksial negatif (karena bertambah pendek) dan regangan lateral positif (karena dimensi membesar). Rasio poisson akan tetap sama ketika masih dalam kondisi elastis linier.

Pada pasangan dinding bata, bata merah dan mortar yang digunakan selalu memiliki nilai rasio poisson yang berbeda. Menurut Yonathan (2010), rasio poisson rata-rata dari benda uji mortar memiliki nilai yang lebih kecil dari rasio poisson rata-rata dari model pasangan bata. Rasio Poisson lebih dipengaruhi oleh batu bata dan bukan oleh mortar. Hasil penelitian mengenai rasio poisson terhadap pasangan bata dengan 3 lapis spesi dari daerah yang berbeda menggunakan metode SII dan ASTM dapat dilihat pada tabel 2.8.

**Tabel 2.8** Rasio poisson pasangan batu bata merah

No	Asal Benda Uji Bata	Rasio Poisson Rata-rata Model SII dan ASTM
1	Pakis, Malang	0,208 ± 0,123
2	Trowulan, Mojokerto	0,044 ± 0,043
3	Siring, Kediri	0,142 ± 0,011
4	Wonorejo, Tulungagung	0,289 ± 0,159

Sumber: Yonathan (2010)

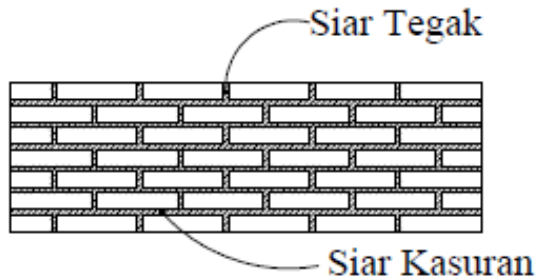
## 2.4 Mortar

Mortar adalah campuran dari bahan perekat, agregat, dan air. Bahan perekat yang biasa digunakan antara lain semen portland, pozzolan (bisa berupa trass, atau bata merah yang dihaluskan), atau bahan khusus yang langsung bisa digunakan sebagai mortar

setelah ditambah air. Mortar berfungsi sebagai pengikat antara satu bata dengan bata yang lain, sehingga aksi komposit antar keduanya dapat terbentuk.

Kekuatan mortar sangat dipengaruhi oleh faktor air semen (FAS) atau konsistensi pada saat pengikatan. Sehingga jika mortar sudah terpasang pada dinding, maka FAS yang mempengaruhi kekuatannya bukan lagi FAS pada saat pencampuran, melainkan FAS setelah mortar terpasang. Selain itu, umur mortar, penyerapan bata, jenis agregat yang digunakan, temperatur pada saat pelaksanaan, tekanan yang diberikan pada saat pemasangan bata, waktu pelaksanaan, faktor pekerja, juga mempengaruhi kekuatan mortar.

Pencampuran mortar sebaiknya dilakukan pada suhu antara 5°C sampai 30°C, jika tidak, maka perlu dilakukan penyesuaian untuk mempertahankan jumlah air yang dibutuhkan untuk bereaksi. Tebal lapisan mortar tidak boleh melebihi tebal bata, karena terlalu tebalnya mortar akan berpengaruh pada berkurangnya kekuatan ikatan akibat terjadinya penyerapan dan penguapan yang berlebih. Di Indonesia biasanya digunakan siar tegak dan siar kasuran masing-masing setebal 1 cm sampai 2 cm. Untuk mengetahui seperti apa siar tegak dan siar kasuran, dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Siar tegak dan siar kasuran  
Sumber: EERI & IAEE (2011)

#### 2.4.1 Pengaruh tebal mortar

Hasil penelitian Wisnumurti dkk (2011) menunjukkan bahwa ketebalan mortar mempunyai efek yang signifikan terhadap kekuatan dinding. Pengaruh ketebalan mortar ini berlaku untuk kedua macam siar, tegak maupun kasuran. Tabel 2.9 menunjukkan pengaruh ketebalan mortar terhadap kekuatan dinding.

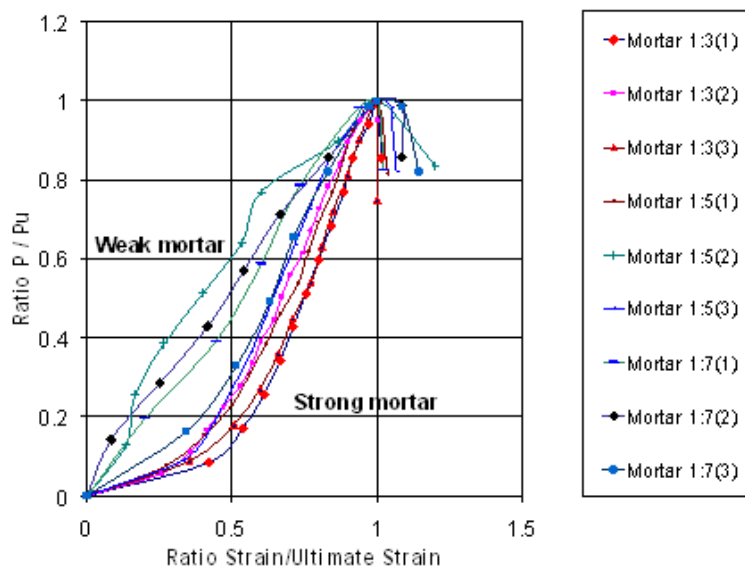
**Tabel 2.9** Pengaruh tebal mortar pada kekuatan dinding

Nomor	Siar Tegak : Siar Kasuran	Kuat Tekan ( $\text{kg/cm}^2$ )	Koefisien Variasi (%)
1	1 cm : 1 cm	14,21	21,9
2	3 cm : 1 cm	15,72	10,82
3	1 cm : 3 cm	18,9	15,33
4	3 cm : 3 cm	28,9	15,24

Sumber: Wisnumurti dkk (2011)

#### 2.4.2 Pengaruh kekuatan mortar

Nilai dari kekuatan dinding dipengaruhi oleh kekuatan mortar, tetapi selalu dibawah dari kekuatan mortar dan batu bata merah. Hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan dinding dipengaruhi juga oleh hal lain yang membuat variabel baru selain mortar dan batu bata. Pengujian dilakukan dengan tebal siar tegak dan kasuran sebesar 1,5 cm dan dengan komposisi semen : pasir yang bervariasi. Daktilitas struktur dapat dilihat dengan membuat grafik hubungan tegangan dan regangan. Perilaku daktilitas bahan menunjukan bahwa semakin tinggi kekuatan mortar maka daktilitasnya semakin rendah, yang berarti semakin kuat dinding maka akan semakin getas dibandingkan dengan dinding dengan mortar yang kekuatannya lebih rendah. Grafik hubungan tegangan regangan dapat dilihat pada gambar 2.4.

**Gambar 2.4** Grafik hubungan tegangan regangan

Sumber: Wisnumurti dkk (2011)



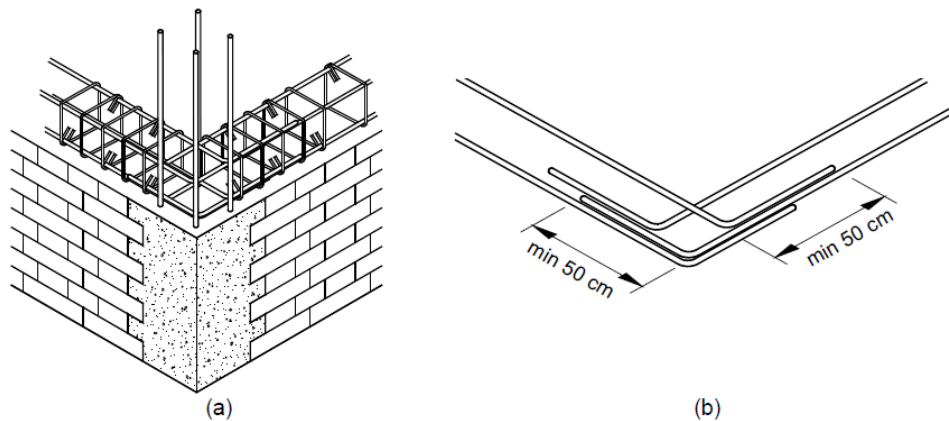
## 2.5 Elemen Struktur

Elemen pembatas pada bangunan bata merah adalah kolom dan balok. Kolom pengikat dan balok pengikat digunakan untuk membantu dan memperkuat posisi dinding pasangan batu bata.

### 2.5.1 Kolom praktis (*tie-column*)

Kolom pengikat atau kolom praktis diletakkan dititik pertemuan antar dinding dan ujung dari dinding yang menahan beban lateral ke bangunan. Jarak antar kolom pengikat tidak boleh melebihi 4,5 meter untuk daerah gempa intensitas tinggi dan 6 meter untuk daerah rawan gempa sedang (EERI & IAEE, 2011). Dimensi minimum yang diberikan adalah 150 mm x tebal dinding.

Penulangan pada *tie-column* minimum menggunakan empat tulangan. Ukuran tulangan minimum menggunakan tulangan ulir 10 mm atau tulangan polos 12 mm. Agar efektif dalam menahan gempa, balok harus dibengkokkan 90° arah longitudinal pada titik perpotongan.



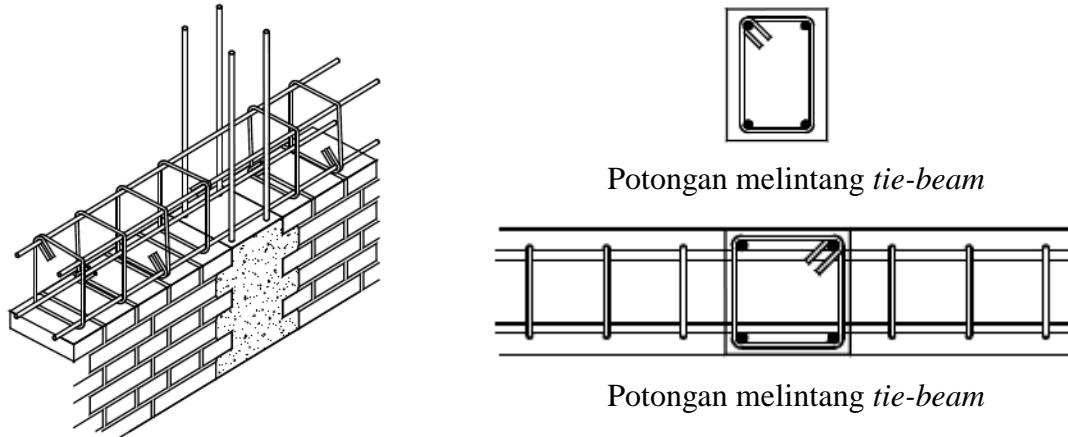
**Gambar 2.5** Konstruksi tie-beam: a) perpotongan dinding; b) pembengkokan arah longitudinal

Sumber: EERI & IAEE (2011)

### 2.5.2 Balok pengikat (*tie-beam*)

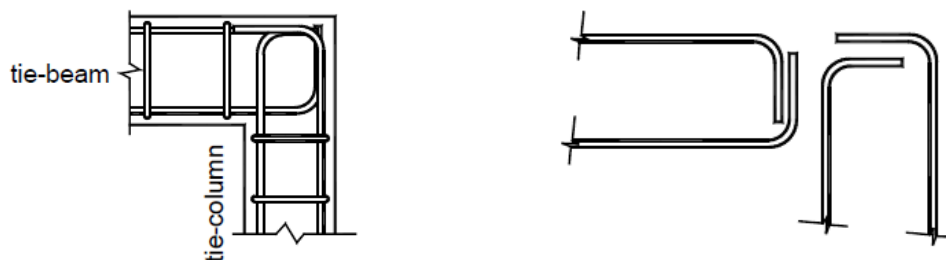
Balok pengikat harus ada di setiap sisi atas dinding yang memiliki tinggi maksimum 3 m atau lebih menguntungkan bila rasio tinggi terhadap ketebalan dinding ( $H/t$ ) tidak lebih dari 20. Dimensi yang digunakan sama dengan kolom pengikat. (EERI & IAEE, 2011)

Sambungan antara balok dan kolom berperan penting dalam menahan gempa secara keseluruhan pada bangunan. Balok merupakan balok menerus. Detail sambungan dapat dilihat pada Gambar 2.6



**Gambar 2.6** Detail tie-beam  
Sumber: EERI & IAEE (2011)

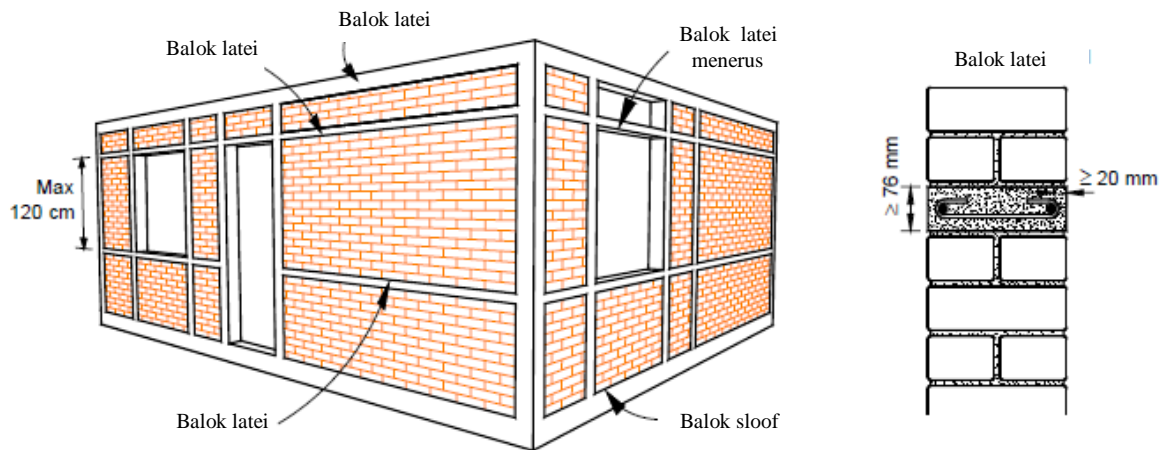
Pembengkokkan pada sambungan antara balok dan kolom pada bagian level atap dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Sambungan balok dan kolom pengikat pada level atap  
Sumber: Alcocer dkk (2003)

### 2.5.3 Balok latei

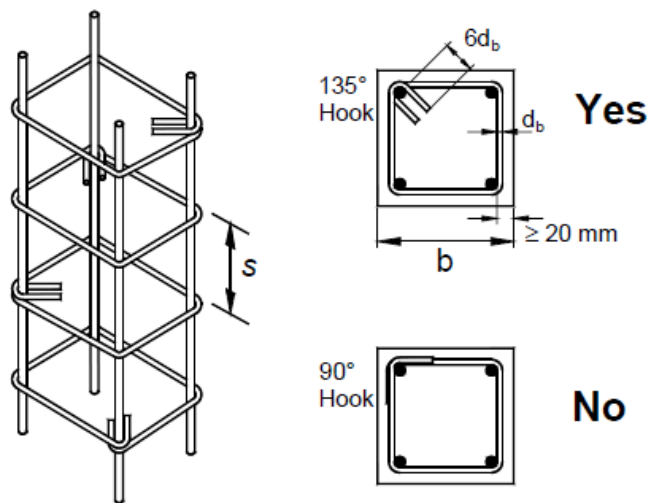
Balok latei adalah balok beton yang terletak diatas kusen pintu dan jendela. Balok latei digunakan agar jendela dan pintu tidak menerima beban diatasnya. Menurut EERI & IAEE (2008), balok latei juga merupakan komponen struktur yang mampu menahan keruntuhan tegak lurus bidang (*out of plane*). Balok latei berdimensi lebih kecil dari balok pengikat.



**Gambar 2.8** Dimensi balok latei  
Sumber: EERI & IAEE (2011)

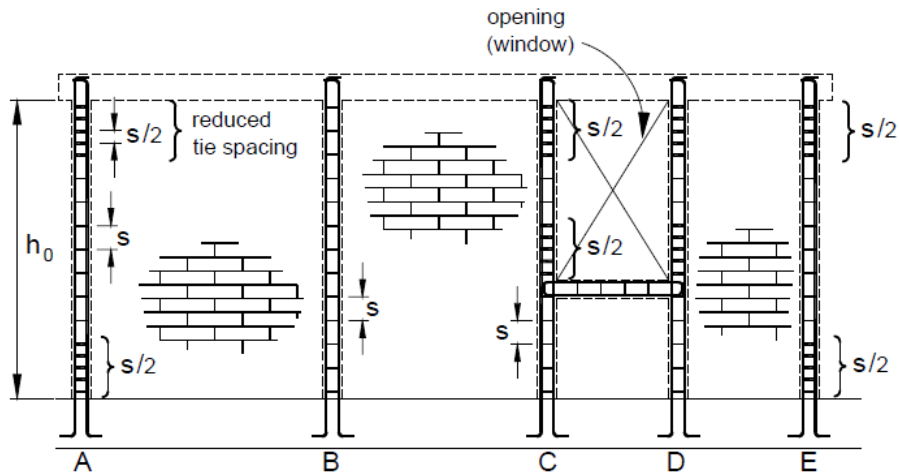
### 2.5.4 Sengkang

Sengkang digunakan untuk menahan gaya geser dari elemen. Menurut EERI & IAEE (2011), dimensi minimum sengkang yang digunakan adalah tulangan polos berdiameter 6 mm. dalam konstruksinya, ujung sengkang harus ditekuk  $135^\circ$  sepanjang enam kali diameter tulangan. jarak selimut beton minimum 20 mm.



**Gambar 2.9** Detail sengkang  
Sumber: EERI & IAEE (2011)

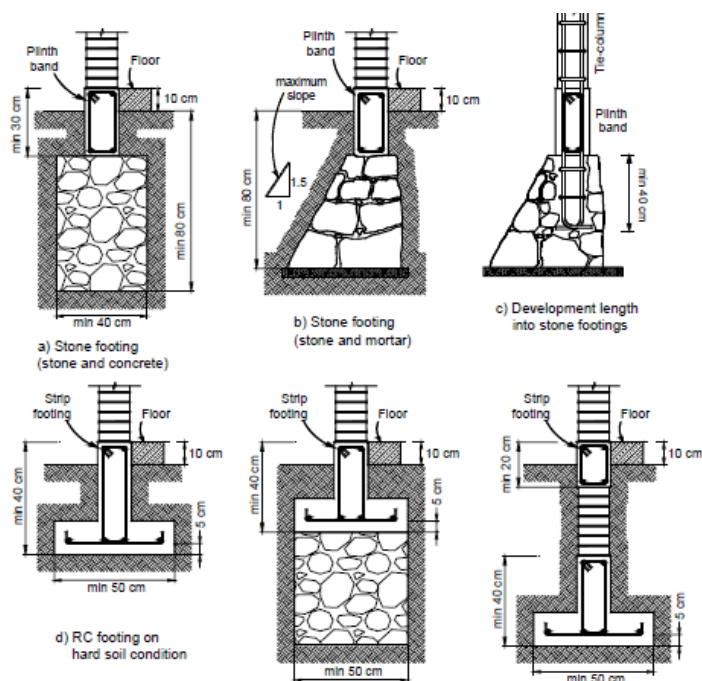
Jarak antar sengkang tidak boleh melebihi 200 mm. Untuk daerah gempa intensitas tinggi, jarak sengkang dapat digunakan setengah dari jarak antar sengkang di ujung kolom. Dimana jarak ujung kolom dapat diambil jarak terbesar dari dua kali dimensi kolom atau seperenam kali tinggi bersih kolom ( $h_0$ ) dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Pengurangan jarak antar sengkang pada ujung kolom  
Sumber: EERI & IAEE (2011)

### 2.5.5 Pondasi

Pondasi harus di buat sama seperti pada membangun bangunan bata merah tradisional, biasa menggunakan batu kali. Balok *sloof* ditempatkan diatas pondasi, balok *sloof* ini harus ditempatkan disepanjang dasar panel dinding sehingga dapat mencegah keruntuhan dinding akibat bangunan rumah yang berdiri di tanah keras (EERI &IAEE, 2011). Berbagai bentuk pondasi dapat dilihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Detail pondasi untuk bangunan pasangan batu bata merah  
Sumber: EERI & IAEE (2011)

## 2.6 Kekakuan

Menurut Federal Emergency Management Agency (FEMA) 356, penggunaan bahan-bahan dalam bangunan struktur batu bata seharusnya dianggap menjadi bahan homogen. Untuk perhitungan dalam kondisi linear, kekakuan dari dinding struktur batu bata tidak terkekang seharusnya dianggap berbanding lurus dan proporsional dengan bentuk geometri dari dinding dalam keadaan utuh, tidak ada retak. Pembagian beban lantai dalam satu lantai seharusnya didistribusikan sesuai dengan proporsi dari kekakuan setiap dinding.

Tes laboratorium dari dinding geser menunjukkan bahwa perilaku dinding untuk bangunan tingkat rendah dapat dipresentasikan dengan prinsip mekanik dari homogeni material. Kekakuan lateral dalam bidang dari dinding terkekang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-1).

$$k = \frac{1}{\frac{h_{eff}^3}{12E_m I_g} + \frac{h_{eff}}{A_v G_m}} \quad (2-1)$$

dengan:

$h_{eff}$  = Tinggi Dinding

$A_v$  = Luas Geser

$I_g$  = Momen Inersia dari dinding sebelum mengalami retak

$E_m$  = Modulus Elastisitas Batu Bata

$G_m$  = Modulus Geser Batu Bata

## 2.7 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah hasil dari pelepasan energi secara tiba-tiba di lempeng bumi yang menghasilkan gelombang gempa. Gempa bumi diklasifikasikan menjadi 3 yaitu intensitas kuat, sedang, dan lemah. Intensitas tersebut ditentukan oleh percepatan gerakan tanah, yang dinyatakan dengan spektrum respons dan koefisien-koefisien yang diturunkan dari spektrum tersebut. Respons struktur terhadap gempa bumi berintensitas kuat diduga akan bersifat inelastis pada struktur, biasanya pada daerah yang dekat dengan *epicenter*.

Gerakan tanah terjadi akibat getaran seismic meliputi percepatan, kecepatan, dan peralihan. Kombinasi dari ketiganya menimbulkan gaya dan perpindahan. Hal tersebut lah yang membatasi kuat tidaknya suatu struktur. Parameter utama dalam suatu desain seismik antara lain, kecepatan tanah puncak, percepatan tanah puncak dan peralihan tanah puncak.

## **2.8 Analisis Seismik**

Analisis seismik adalah analisis beban dinamis terhadap struktur bangunan dimana beban berubah-ubah sebagai fungsi waktu. Perubahan beban yang cepat menimbulkan gerakan perpindahan yang cepat pula pada konstruksi. Gerakan tersebut ditahan oleh gaya elastis pada bangunan.

### **2.8.1 Analisis respon spektrum**

Analisis ragam spektrum respons pada suatu struktur adalah pemodelan matematika struktur diberlakukan suatu spektrum respons gempa rencana guna menentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut melalui respons masing-masing ragamnya.

Respons suatu struktur merupakan superposisi respons masing-masing ragam getaran yang memiliki sifat-sifat berbeda. Respons suatu struktur dapat dimodelkan sebagai respons sejumlah getar satu derajat kebebasan dengan sifat masing-masing yang dapat mewakili respons ragam-ragam getaran struktur dengan masing-masing tingkat partisipasinya dalam memberikan respons terhadap gerakan gempa yang ditinjau.

Spektrum respons gempa di Indonesia berbeda-beda di setiap daerah. Dalam websitenya, Puskim PU mengatur spektrum respons gempa di setiap daerah. Spektrum Respons di Kota Malang menurut Puskim PU adalah sebagaimana dalam tabel 2.10 dan tabel 2.11.

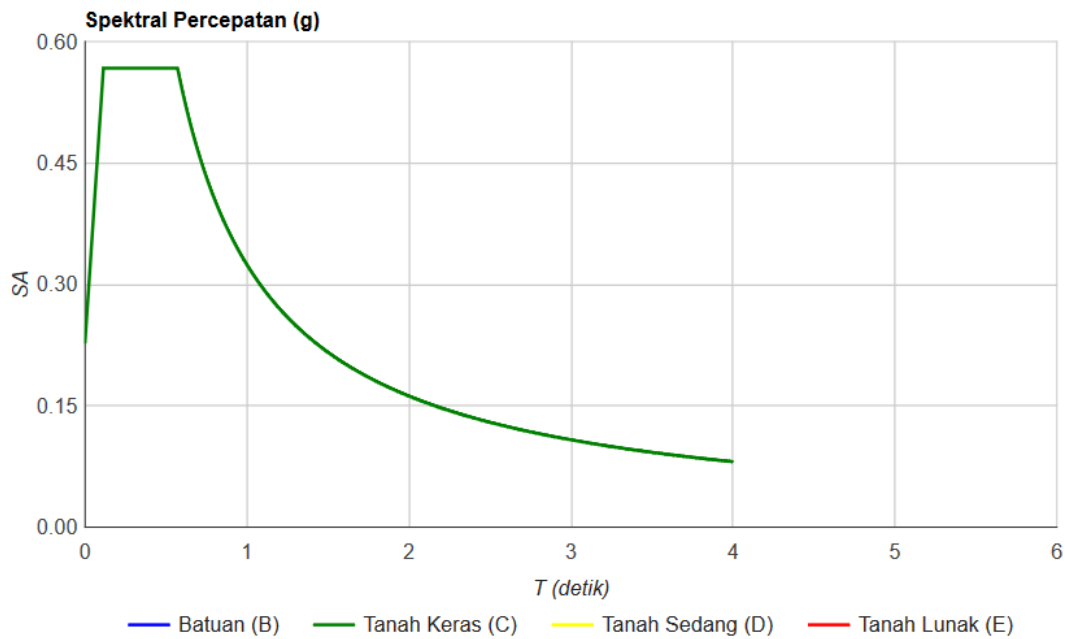
**Tabel 2.10** Parameter respons spektral percepatan Kota Malang pada tanah keras

Variabel	Nilai
PGA (g)	0.399
S <sub>s</sub> (g)	0.782
S <sub>1</sub> (g)	0.331
C <sub>RS</sub>	1.003
C <sub>R1</sub>	0.925
F <sub>PGA</sub>	1.001
F <sub>A</sub>	1.087
F <sub>V</sub>	1.469
PSA (g)	0.399
S <sub>MS</sub> (g)	0.850
S <sub>M1</sub> (g)	0.486
S <sub>DS</sub> (g)	0.567
S <sub>D1</sub> (g)	0.324
T <sub>0</sub> (detik)	0.114
T <sub>S</sub> (detik)	0.571

Sumber: <http://puskim.pu.go.id/>

**Tabel 2.11** Hubungan spektra percepatan dan waktu pada tanah keras

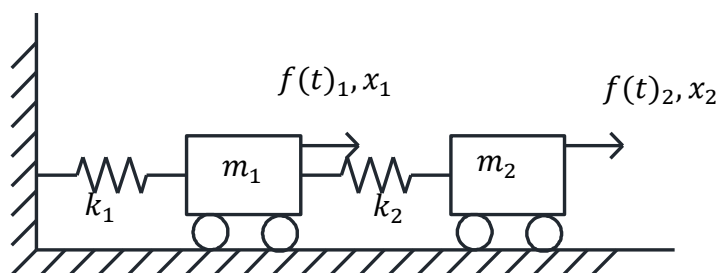
T (detik)	SA (g)	T (detik)	SA (g)
		1.3	0.164
	0	1.4	0.156
T0	0.567	1.5	0.149
TS	0.567	1.6	0.143
	0	1.7	0.137
	0.1	1.8	0.131
	0.2	1.9	0.126
	0.3	2	0.121
	0.4	2.1	0.117
	0.5	2.2	0.113
	0.6	2.3	0.109
	0.7	2.4	0.105
	0.8	2.5	0.102
	0.9	2.6	0.099
	1	2.7	0.096
	1.1	2.8	0.093
	1.2	2.9	0.091
	1.3	4	0.088



**Gambar 2.12** Grafik spektrum respons Kota Malang pada tanah keras  
 Sumber: <http://puskim.pu.go.id/>

### 2.8.2 Analisis modal derajat kebebasan majemuk

Dalam Paz (1990), bangunan dimodelkan secara matematis dengan kekakuan bangunan seperti pegas dan masa bangunan setiap lantainya seperti balok yang dapat bergerak. Analisis rumah dua lantai dimodelkan dengan dua derajat kebebasan tanpa redaman. Dengan asumsi bahwa setiap masa lantai bangunan dikumpulkan di satu titik. Model matematis dapat dilihat pada gambar 2.13 dan persamaan dasar yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (2-2).



**Gambar 2.13** Model matematis

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 = f(t)_1$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 = f(t)_2 \quad (2-2)$$



Dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t)_1 \\ f(t)_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

dengan:

$m$  = masa

$\ddot{x}$  = percepatan

$k$  = kekakuan

$x$  = perpindahan

## 2.9 Hipotesis penelitian

Setelah mempelajari materi dari tinjauan pustaka serta memahami permasalahan yang akan ada dalam proses penelitian, maka dapat diambil hipotesis yaitu dinding rumah batu bata dua lantai mampu menerima gaya gempa di kota Malang berdasarkan penelitian terdahulu.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Penggunaan *Software*

Penelitian ini menggunakan alat bantu *software* dalam pengerjaannya, *software* Autocad dan Sketchup Make digunakan untuk menggambarkan dan memodelkan rumah. Microsoft Excel digunakan untuk membantu menghitung sehingga lebih nyaman dan mudah dalam pembacaan data.

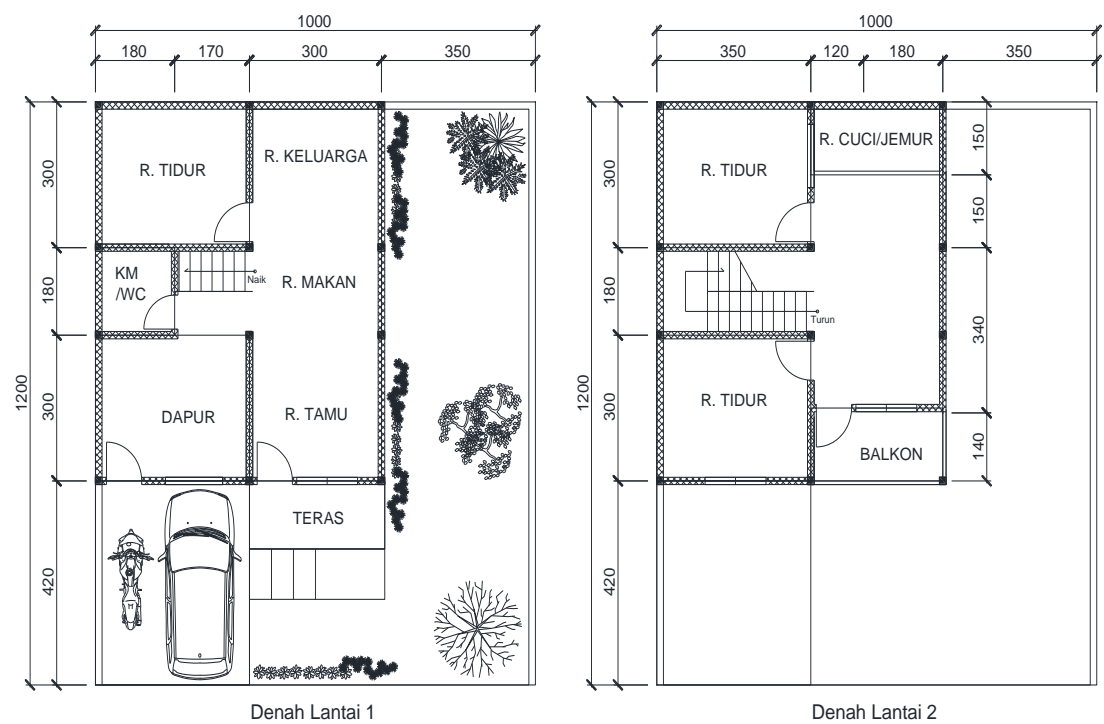
### 3.2 Pemodelan Rumah

Rumah dua lantai yang digunakan dalam penelitian ini mengusung desain rumah yang direncanakan pada Jalan Karangampel Timur, kota Malang. Konsep desain menggunakan konsep pembangunan yang senyatanya (*confined masonry building*) dengan sedikit modifikasi, supaya didapatkan hasil yang optimal dalam analisis penelitian ini. Atap yang digunakan adalah atap gewel dengan model pelana.



**Gambar 3.1** Lokasi jalan karangampel timur

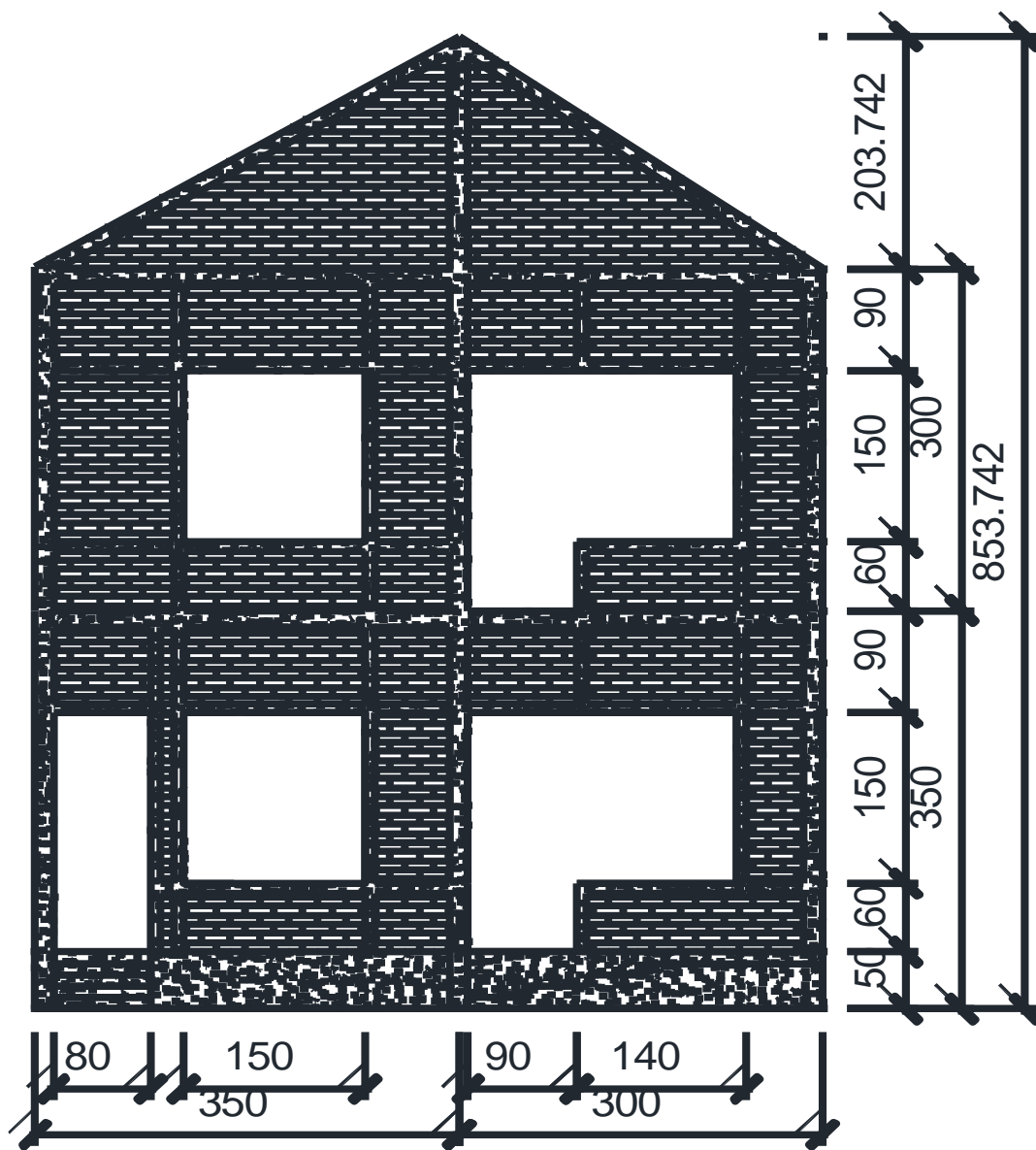
Sumber: <https://maps.google.com/>



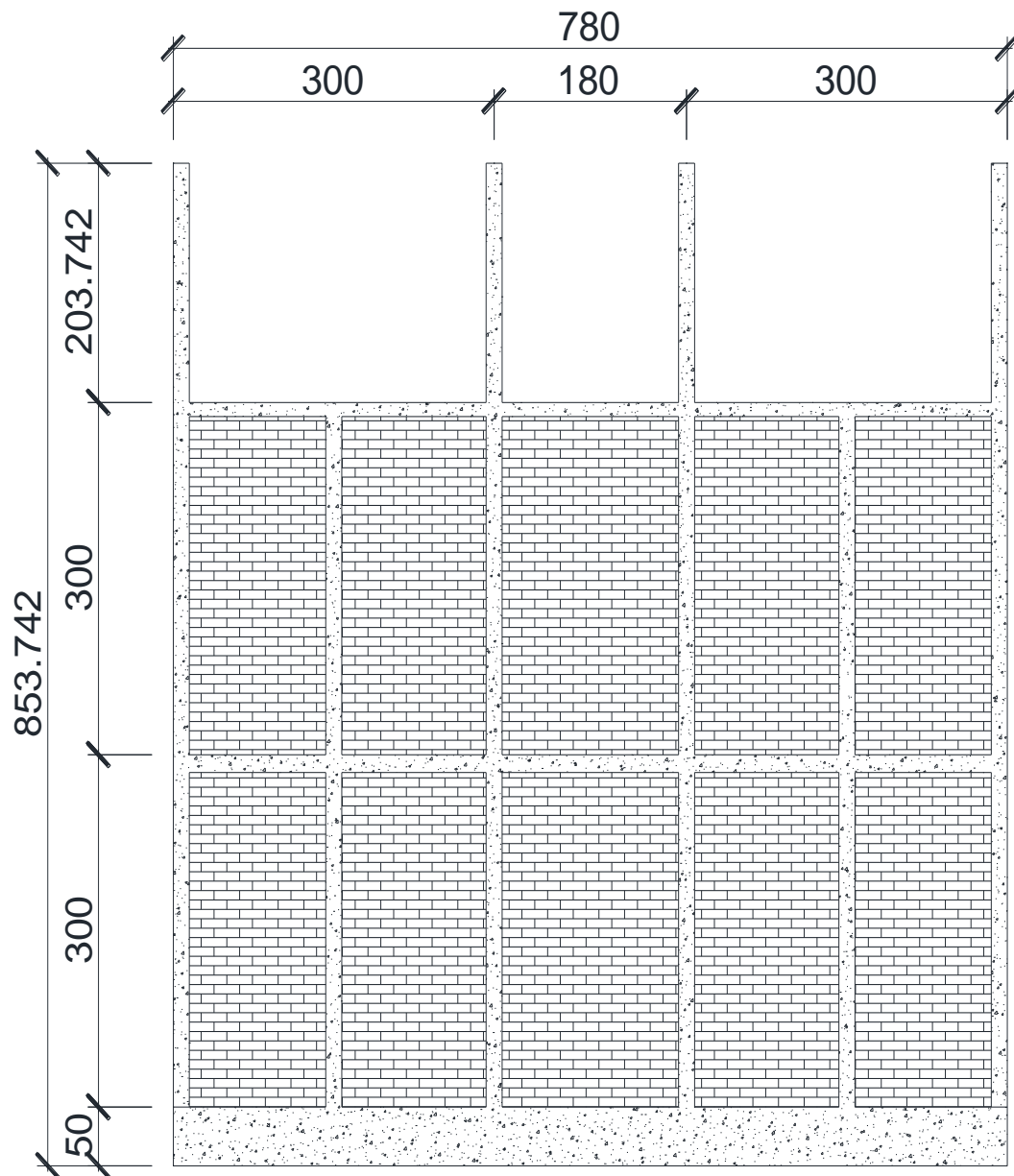
Gambar 3.2 Denah rumah



Gambar 3.3 Tampak depan rumah



**Gambar 3.4** Detail struktur dan dinding tampak depan



**Gambar 3.5** Detail struktur dan dinding tampak samping

Spesifikasi teknis:

- Pondasi : Batu kali
- Struktur : Beton bertulang
- Dinding : Bata Merah
- Rangka atap : Baja Ringan
- Genteng : Keramik

### 3.3 Karakteristik Material yang Digunakan

#### 3.3.1 Dinding batu bata merah

Dinding batu bata merah yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu oleh Wisnumurti dkk. Batu bata merah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Tulungagung, dengan ukuran  $22,65 \times 10,39 \times 4,31$  cm ( $p \times l \times t$ ). Karakteristik batu bata merah dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Karakteristik batu bata merah yang digunakan

Karakteristik	Nilai
Modulus Elastisitas	2206,89 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus Geser	753,23 kg/cm <sup>2</sup>
Rasio Poisson	0,289
Masa Jenis	1,5 gr/cm <sup>3</sup>

#### 3.3.2 Balok dan kolom

Balok dan Kolom yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok dan kolom praktis yang didesain minimum menurut EERI dan IAEE. Ukuran lebar batu bata yang digunakan dibulatkan ke atas mengingat adanya tambahan material bangunan yang melapisi dinding, ukuran lebih detail dapat dilihat pada tabel 3.2 dan diasumsikan bahwa dibuat setelah dinding telah selesai dibangun. Beton yang digunakan setara dengan mutu K-175. Mutu besi polos yang digunakan adalah U-24 ( $F_y = 2400$  kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabel 3.2** Dimensi balok dan kolom

Elemen	Dimensi (cm × cm)	Jumlah tulangan - dimensi tulangan
Kolom praktis	11 × 11	4-D12
Kolom <i>intersection</i>	15 × 11	4-D12
Balok praktis	15 × 11	4-D12
Balok latei	8 × 11	2-D12
Balok sloof	30 × 11	4-D12

#### 3.3.3 Pelat lantai

Pelat lantai 2 diasumsikan terbuat dari beton bertulang dengan tebal 12 cm.

#### 3.3.4 Pondasi

Pondasi yang digunakan adalah pondasi menerus batu kali seperti yang digunakan pada tinjauan pustaka. Detail pondasi dapat dilihat pada Gambar 2.11

### 3.4 Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1727-2013, agar didapatkan nilai perkiraan yang tepat untuk berat material, maka diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983). Beban gempa rencana menggunakan respons spektrum berdasarkan puskim pu dengan  $PGA = 0,399$  g dengan probabilitas keruntuhan 1% dalam 50 tahun.

#### 3.4.1 Beban mati

Beban mati merupakan berat sendiri bahan bangunan komponen rumah, digunakan beban-beban seperti tercantum pada PPIUG untuk komponen rumah sebagai berikut :

**Tabel 3.3** Beban mati yang digunakan

Komponen	Berat
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan bata merah	1700 kg/m <sup>3</sup>
Spesi lantai keramik t 2cm	42 kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai keramik	24 kg/m <sup>2</sup>
Plafond dan penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap genting dengan reng dan usuk per m <sup>2</sup> bidang atap	50 kg/m <sup>2</sup>

#### 3.4.2 Beban hidup

Beban hidup pada atap diambil sebesar 100 kg/m<sup>2</sup> bidang datar proyeksi atap. Untuk lantai rumah ditetapkan sebesar 200 kg/m<sup>2</sup>.

#### 3.4.3 Beban gempa rencana

Beban gempa rencana yang digunakan adalah respons spektrum pada daerah lokasi rumah dengan nilai garis bujur  $-7.9549^\circ$  dan garis lintang  $112.5890^\circ$ . Berdasarkan model respons spektrum menurut Puskim PU didapatkan *Peak Ground Acceleration (PGA)* sebesar 0,399 g dengan probabilitas keruntuhan 1% dalam 50 tahun. Dalam analisis gempa diasumsikan bahwa jenis tanah merupakan tanah keras.

#### 3.4.4 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit yang di pakai menurut SNI 1726-2012

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5(L<sub>r</sub> atau R)
3. 1,2 D + 1,6(L<sub>r</sub> atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2 D + 1,0W + L + 0,5(L<sub>r</sub> atau R)
5. 1,2 D + 1,0E + L



$$6. 0,9 D + 1,0W$$

$$7. 0,9 D + 1,0E$$

Dengan:

D = Beban mati

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup atap

R = Beban air hujan

E = Beban gempa

W = Beban angin

### 3.5 Prosedur Analisis

Tahap awal dalam analisis adalah mencari berat setiap lantai rumah. Kemudian mencari kekakuan lantai dari susunan denah dinding rumah. Tahap berikutnya merupakan tahap analisis dinamik dengan dua derajat kebebasan, hingga didapatkan distribusi gaya gempa setiap lantai pada arah X dan Y. Tahap terakhir penelitian ini adalah mendistribusikan gaya yang terjadi akibat gempa ke dinding-dinding setiap lantai dengan pengaruh eksentrisitas yang telah dicari sebelumnya, dengan gaya 100% arah X dan 30% arah Y atau sebaliknya.

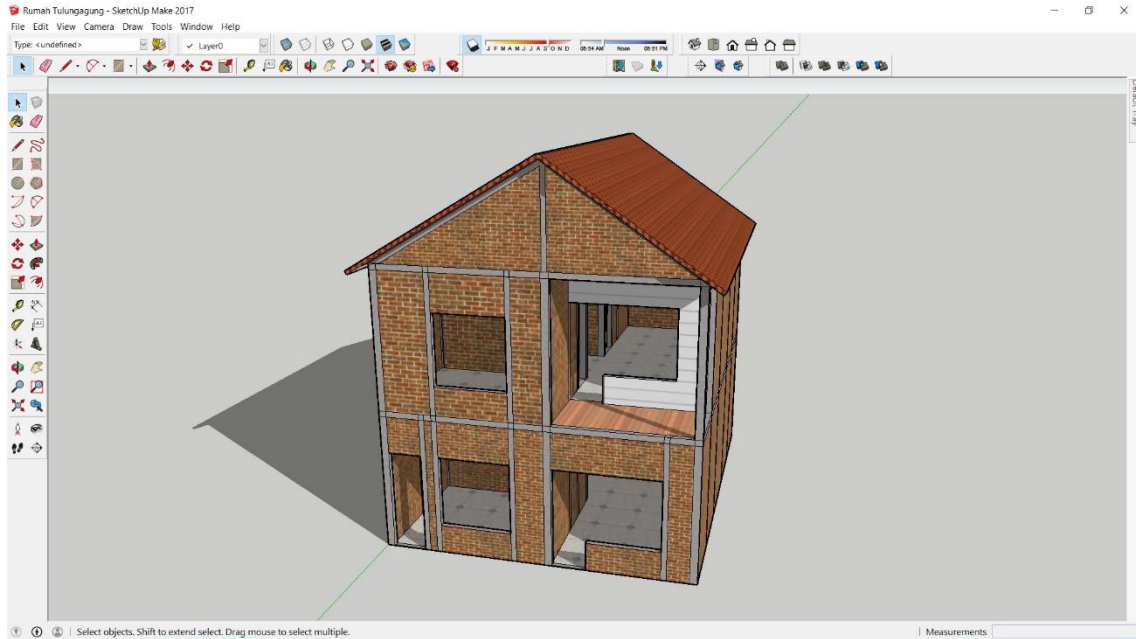
### 3.6 Diagram Alur Penelitian



## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Berat Lantai Dan Kekakuan Dinding

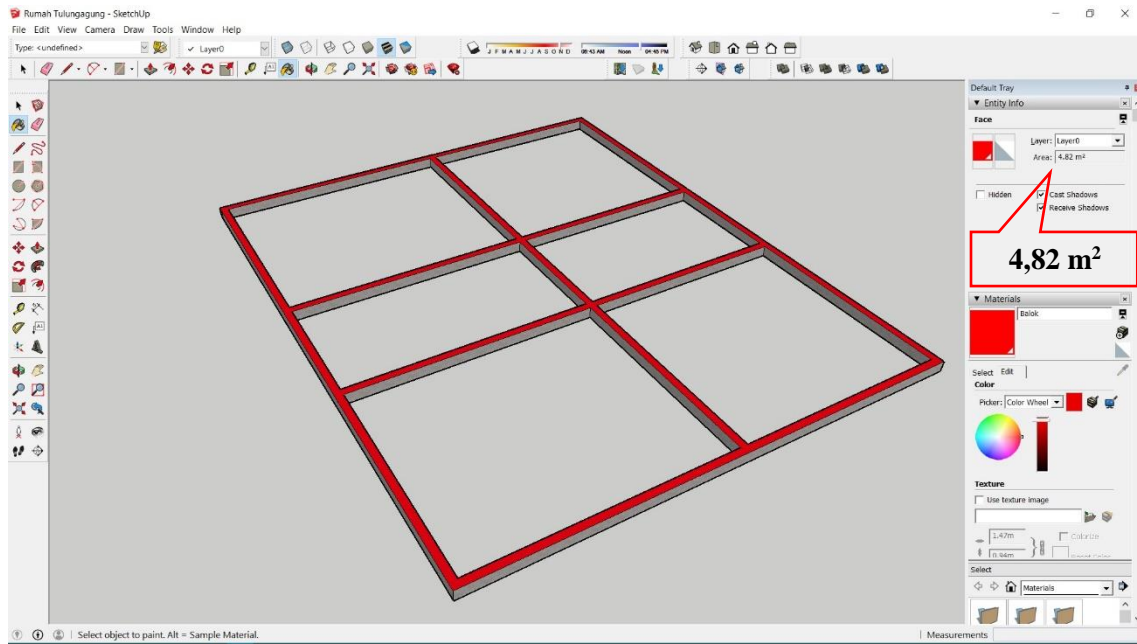
Perhitungan berat lantai dan kekakuan dilakukan dengan bantuan visualisasi program sketchup. Dengan demikian, hasil yang diperoleh dapat lebih teliti dan lebih mudah dipahami. Visualisasi keseluruhan rumah dapat dilihat pada gambar 4.1.



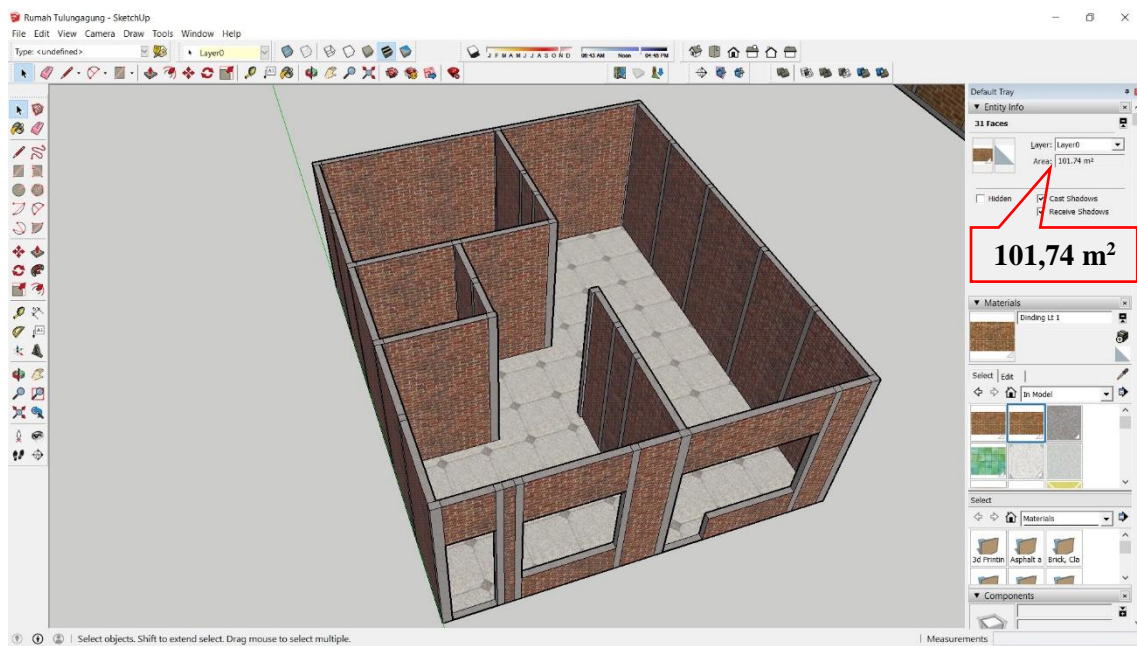
**Gambar 4.1** Visualisasi rumah keseluruhan

#### 4.1.1 Berat lantai

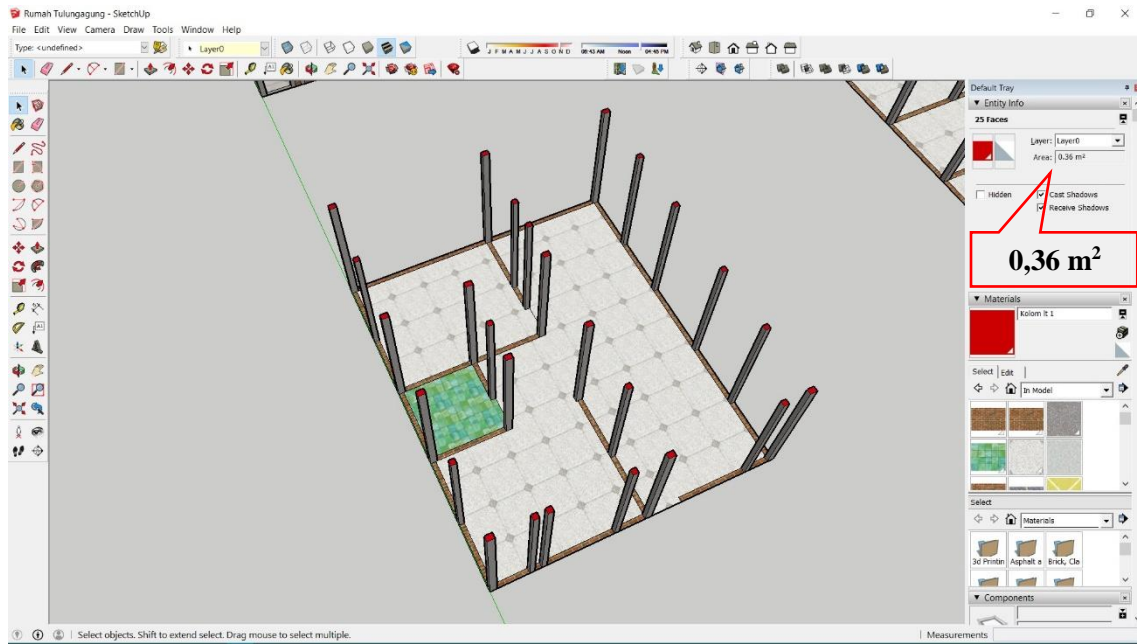
Perhitungan luas komponen dibantu oleh program, luas komponen yang dipilih dapat dilihat dengan melihat properti yang ada pada menu *entity info* di sisi kanan. Gambar 4.2 merupakan contoh cara melihat luas komponen balok lantai pada program *sketchup*. Luas komponen yang didapat akan digunakan untuk menghitung berat, dengan mengalikan dengan panjang sisi lainnya sehingga mendapat volume komponen yang ditinjau. Kemudian volume yang didapat dikalikan dengan berat volume, sehingga didapatlah berat komponen tersebut. Gambar luas setiap komponen yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.2 hingga gambar 4.9.



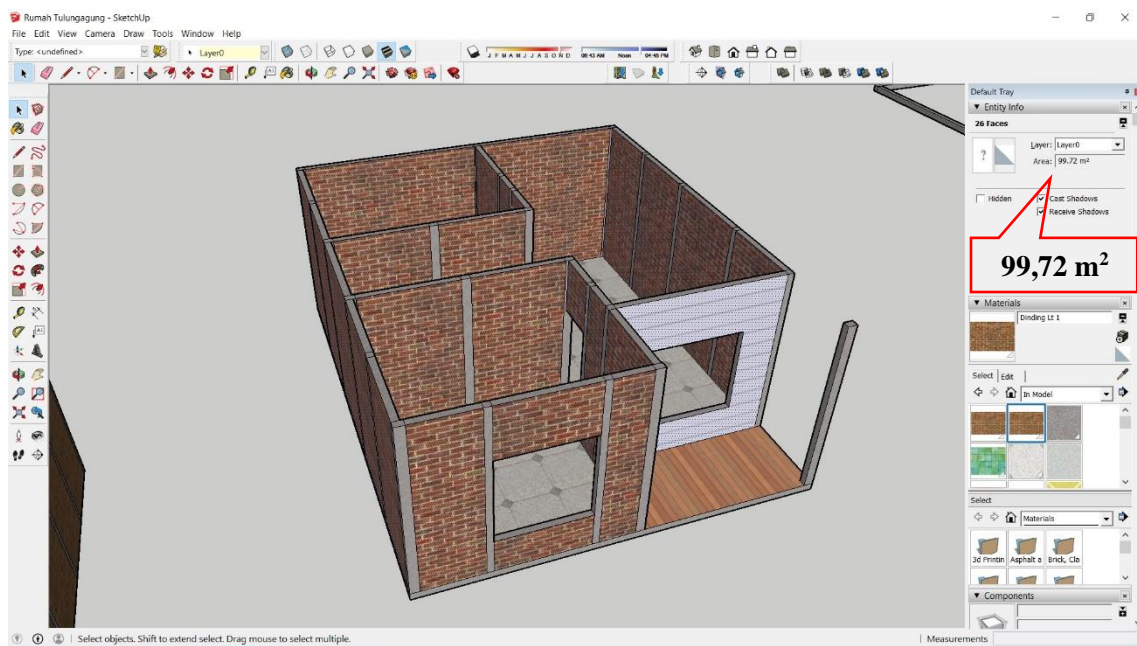
**Gambar 4.2** Luas balok lantai



**Gambar 4.3** Luas dinding lantai 1

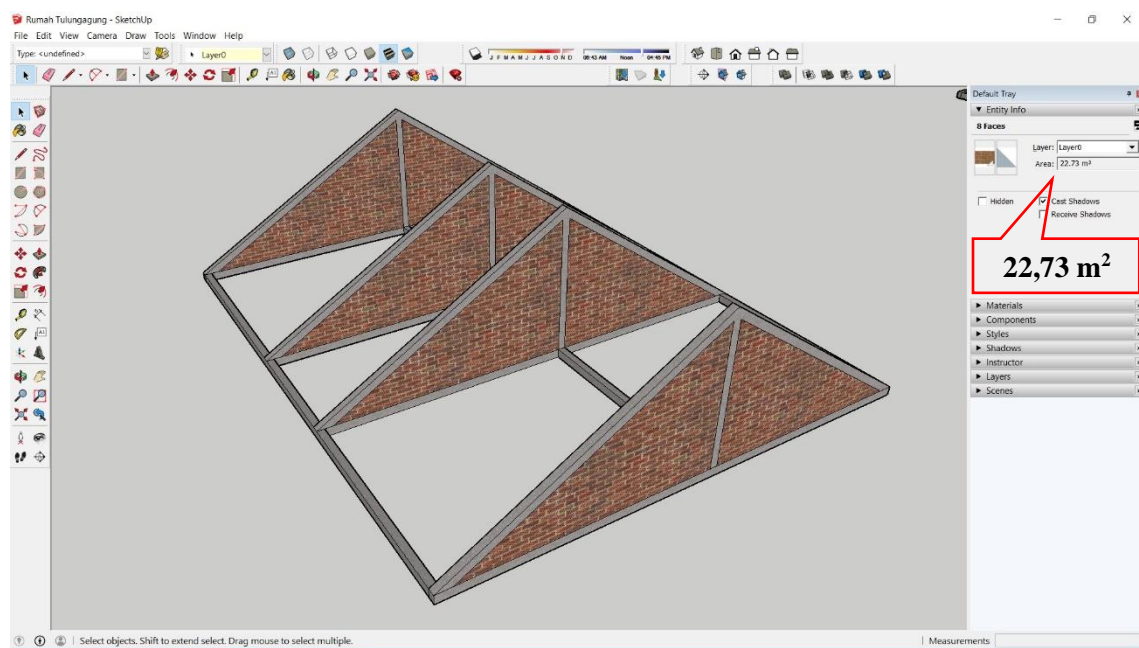


**Gambar 4.4** Luas kolom lantai 1

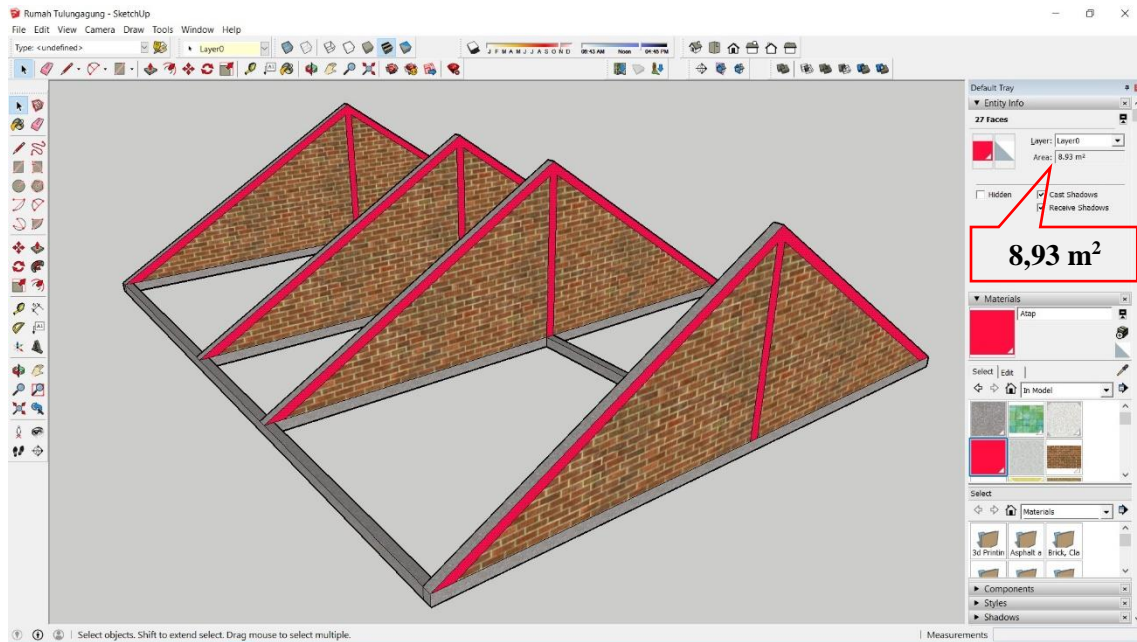


**Gambar 4.5** Luas dinding lantai 2

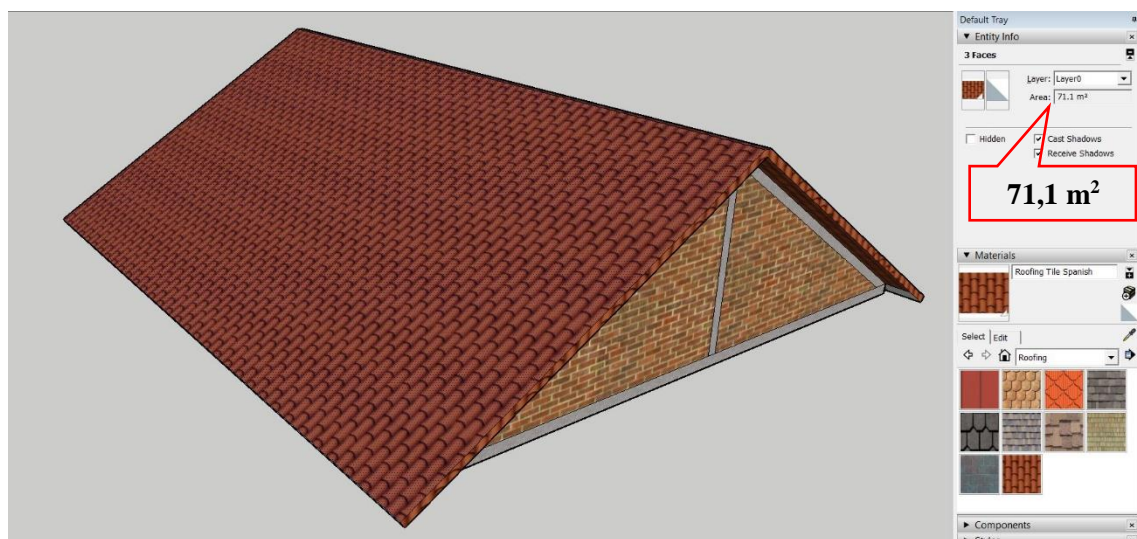
**Gambar 4.7** Luas dinding atap







**Gambar 4.8** Luas beton atap



**Gambar 4.9** Luas genteng

Berat beban yang didapat kemudian dikali dengan faktor beban rencana metode ultimit. Perhitungan berat beban lantai 1 adalah sebagai berikut:

Beban Mati:

- $\frac{1}{2}$  Kolom lt. 1 =  $0,5 \times 3 \times 0,36 \text{ m}^2$  x  $2400 \text{ kg/m}^3$  = 1296 kg
- $\frac{1}{2}$  Kolom lt 2 =  $0,5 \times 3 \times 0,32 \text{ m}^2$  x  $2400 \text{ kg/m}^3$  = 1152 kg
- $\frac{1}{2}$  Dinding lt 1 =  $0,5 \times 0,105 \times 101,74 \text{ m}^2$  x  $1700 \text{ kg/m}^3$  = 9080,3 kg
- $\frac{1}{2}$  Dinding lt 2 =  $0,5 \times 0,105 \times 99,72 \text{ m}^2$  x  $1700 \text{ kg/m}^3$  = 8900 kg

- Balok	$= 0,15 \times 4,82 \text{ m}^2$	$\times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 1735,2 \text{ kg}$
- Pelat lantai	$= 0,12 \times 6,5 \times 7,8$	$\times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 14602 \text{ kg}$
- Spesi lantai keramik t 2 cm	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 42 \text{ kg/m}^2$	$= 2129,4 \text{ kg}$
- Penutup lantai keramik	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 24 \text{ kg/m}^2$	$= 1216,8 \text{ kg}$
- Plafond + penggantung	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 18 \text{ kg/m}^2$	$= 912,6 \text{ kg}$
- M&E	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 20 \text{ kg/m}^2$	$= 1014 \text{ kg}$

Total Beban Mati  **$= 42038,3 \text{ kg}$**

Beban Hidup:

- Untuk lantai Rumah Tinggal	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 200 \text{ kg/m}^2$	<b><math>= 10140 \text{ kg}</math></b>
------------------------------	--------------------	-----------------------------	--

Beban Total Lantai 1  $= 1,2 \times \text{Beban Mati} + 1,6 \times \text{Beban Hidup}$   
 $= 1,2 \times 42038,3 + 1,6 \times 10140 = \mathbf{66669,96 \text{ kg}}$

Perhitungan berat beban lantai 2 adalah sebagai berikut:

Beban Mati:

- $\frac{1}{2}$ Dinding lt 2	$= 0,5 \times 0,105 \times 99,72 \text{ m}^2$	$\times 1700 \text{ kg/m}^3$	$= 8900 \text{ kg}$
- $\frac{1}{2}$ Kolom lt 2	$= 0,5 \times 3 \times 0,32 \text{ m}^2$	$\times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 1152 \text{ kg}$
- Dinding Atap	$= 0,105 \times 22,73 \text{ m}^2$	$\times 1700 \text{ kg/m}^3$	$= 4057,3 \text{ kg}$
- Balok	$= 0,15 \times 4,82 \text{ m}^2$	$\times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 1735,2 \text{ kg}$
- Beton Atap	$= 0,105 \times 8,93 \text{ m}^2$	$\times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 2250,4 \text{ kg}$
- Genteng, reng, usuk	$= 71,1 \text{ m}^2$	$\times 50 \text{ kg/m}^2$	$= 3555 \text{ kg}$
- Plafond + penggantung	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 18 \text{ kg/m}^2$	$= 912,6 \text{ kg}$
- M&E	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 20 \text{ kg/m}^2$	$= 1014 \text{ kg}$

Total Beban Mati  **$= 23576,5 \text{ kg}$**

Beban Hidup:

- Untuk Atap	$= 6,5 \times 7,8$	$\times 100 \text{ kg/m}^2$	<b><math>= 5070 \text{ kg}</math></b>
--------------	--------------------	-----------------------------	---------------------------------------

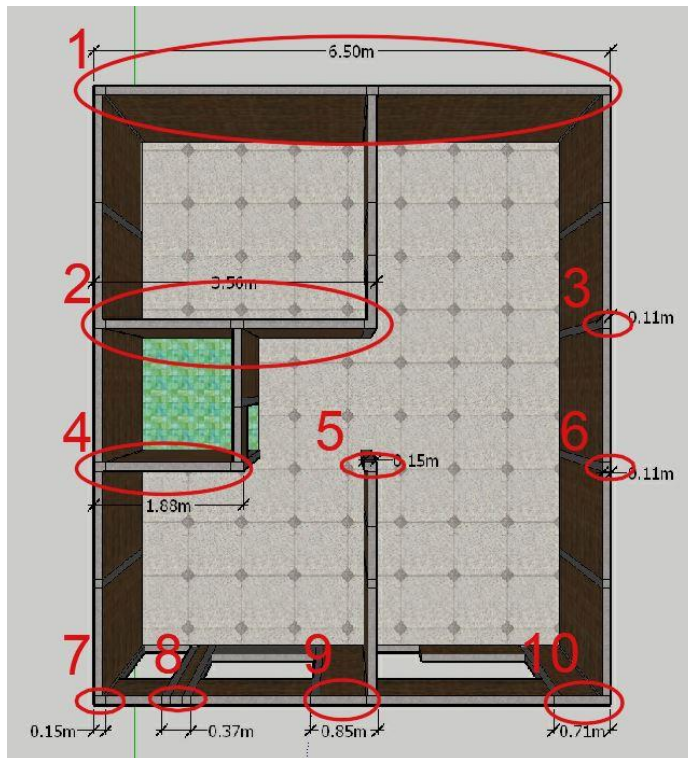
Beban Total Lantai 2  $= 1,2 \times \text{Beban Mati} + 1,6 \times \text{Beban Hidup}$   
 $= 1,2 \times 23576,5 + 1,6 \times 5070 = \mathbf{36403,8 \text{ kg}}$

#### 4.1.2 Kekakuan dinding

Kekakuan dinding untuk satu lantai didapatkan dari menjumlahkan semua kekakuan dinding pada lantai tersebut. Dalam menghitung kekakuan dinding pada satu arah digunakan persamaan (2-1) dengan modulus elastisitas batu bata Em sebesar 2206,89



kg/cm<sup>2</sup> dan modulus geser Gm sebesar 753,23 kg/cm<sup>2</sup>. Agar mempermudah dalam perhitungan, digunakan penomoran dinding untuk satu lantai satu arah seperti pada gambar 4.10, kemudian dibuat tabel 4.1 untuk merekap hasil perhitungan. Langkah ini dilakukan hingga didapat seluruh kekakuan lantai arah x (horisontal) dan y (vertikal).



**Gambar 4.10** Penomoran dinding lantai 1 arah X

**Tabel 4.1** Perhitungan kekakuan dinding lantai 1 arah X

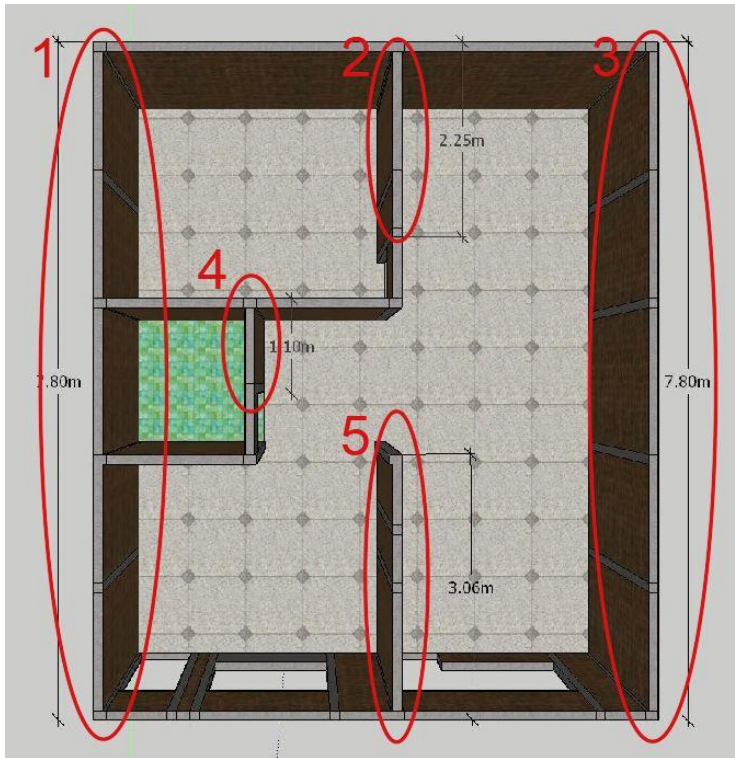
No	L cm	w cm	Av cm <sup>2</sup>	Ig cm <sup>4</sup>	h cm	k kg/cm
1	650	11	7150	251739583,333	300	16735,250
2	356	11	3916	41358181,333	300	7914,000
3	11	11	121	1220,083	300	1,192
4	188	11	2068	6090949,333	300	2777,938
5	15	11	165	3093,750	300	3,012
6	11	11	121	1220,083	300	1,192
7	15	11	165	3093,750	300	3,012
8	37	11	407	46431,917	300	43,599
9	85	11	935	562947,917	300	447,020
10	71	11	781	328085,083	300	276,434
					K <sub>total</sub>	28202,649

Contoh perhitungan untuk dinding nomor 1 lantai 1 arah x:

$$I_g = \frac{w \times L^3}{12} = \frac{11 \times 650^3}{12} = 251739583,3 \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{1}{\frac{h_{eff}^3}{12 E_m I_g} + \frac{h_{eff}}{A_v G_m}} = \frac{1}{\frac{300^3}{12 \times 2206,89 \times 251739583,3} + \frac{300}{7150 \times 753,23}} = 16735,25 \text{ kg/cm}$$

Dari menjumlahkan kekakuan masing-masing dinding, didapatkan kekakuan total lantai 1 arah X sebesar 28202,649 kg/cm.

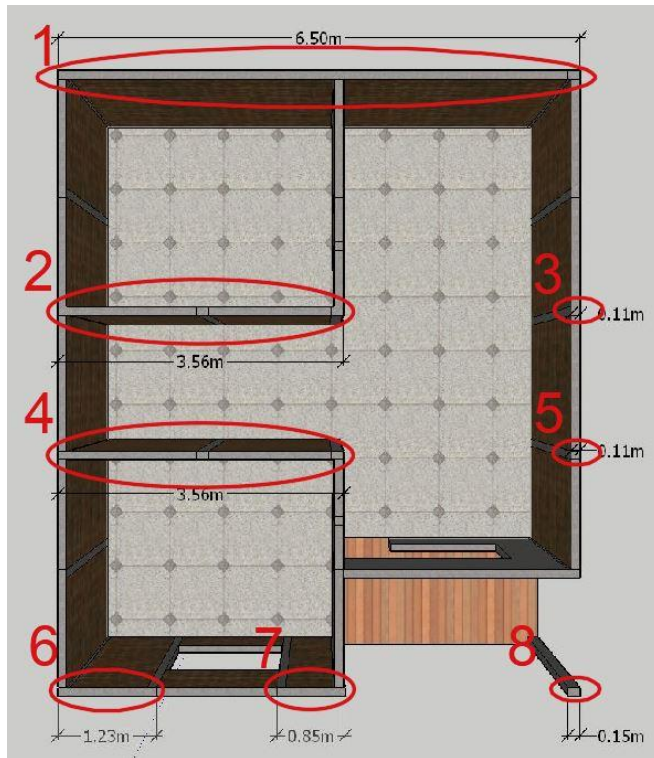


**Gambar 4.11** Penomoran dinding lantai 1 arah Y

**Tabel 4.2** Perhitungan kekakuan dinding lantai 1 arah Y

No	L cm	w cm	Av cm <sup>2</sup>	Ig cm <sup>4</sup>	h cm	k kg/cm
1	780	11	8580	435006000	300	20506,992
2	225	11	2475	10441406,25	300	3867,477
3	780	11	8580	435006000	300	20506,992
4	110	11	1210	1220083,333	300	858,526
5	306	11	3366	26264898	300	6363,623
K <sub>total</sub>						52103,610

Dari menjumlahkan kekakuan masing-masing dinding, didapatkan kekakuan total lantai 1 arah Y sebesar 52103,61 kg/cm.

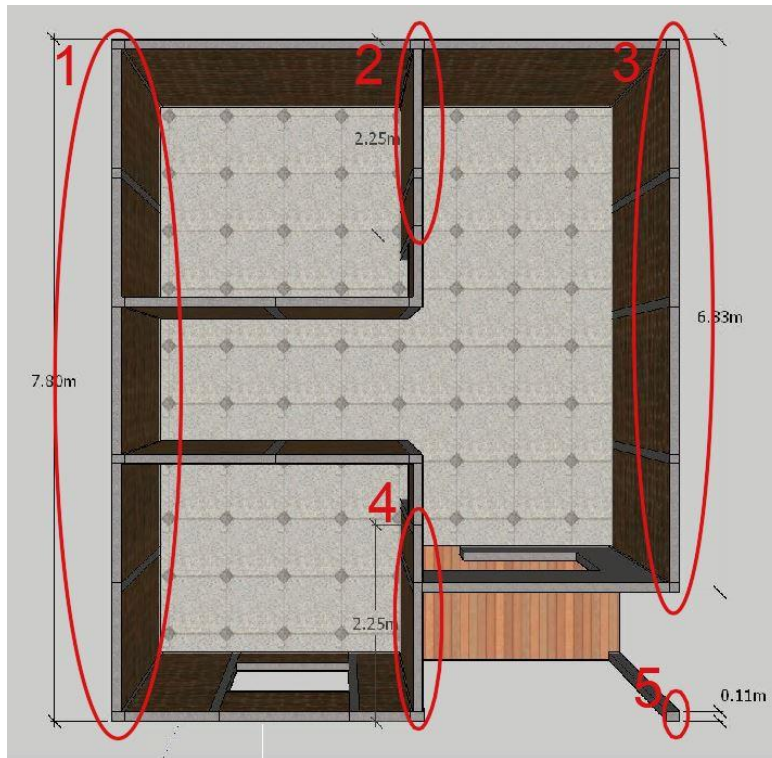


**Gambar 4.12** Penomoran dinding lantai 2 arah X

**Tabel 4.3** Perhitungan kekakuan dinding lantai 2 arah X

No	L cm	w cm	Av cm <sup>2</sup>	Ig cm <sup>4</sup>	h cm	k kg/cm
1	650	11	7150	251739583,3	300	16735,250
2	356	11	3916	41358181,33	300	7914,000
3	11	11	121	1220,083333	300	1,192
4	188	11	2068	6090949,333	300	2777,938
5	11	11	121	1220,083333	300	1,192
6	123	11	1353	1705794,75	300	1121,000
7	85	11	935	562947,9167	300	447,020
8	15	11	165	3093,75	300	3,012
					K <sub>total</sub>	29000,604

Dari menjumlahkan kekakuan masing-masing dinding, didapatkan kekakuan total lantai 2 arah X sebesar 29000,604 kg/cm.



**Gambar 4.13** Penomoran dinding lantai 2 arah Y

**Tabel 4.4** Perhitungan kekakuan dinding lantai 2 arah Y

No	L cm	w cm	Av cm <sup>2</sup>	Ig cm <sup>4</sup>	h cm	k kg/cm
1	780	11	8580	435006000	300	20506,992
2	225	11	2475	10441406,25	300	3867,477
3	633	11	6963	232499792,3	300	16237,652
4	225	11	2475	10441406,25	300	3867,477
5	11	11	121	1220,083333	300	1,192
					K <sub>total</sub>	44480,790

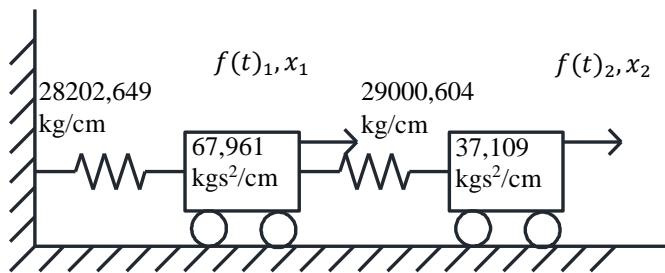
Dari menjumlahkan kekakuan masing-masing dinding, didapatkan kekakuan total lantai 2 arah Y sebesar 44480,79 kg/cm.

## 4.2 Analisis Dinamik MDOF

Analisis dinamik dengan dua derajat kebebasan dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2). Dengan memasukkan beban dan kekakuan yang telah dihitung sebelumnya, model matematis yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada gambar 4.14 dengan persamaan (4-1) untuk Arah X, dan gambar 4.17 dengan persamaan (4-3) untuk Arah Y.

### 4.2.1 Arah X

Dengan memperhitungkan gravitasi sebesar  $981 \text{ cm/s}^2$ , beban lantai satu sebesar  $66669,96 \text{ kg}$  sama dengan  $m_1 = 67,961 \text{ kgs}^2/\text{cm}$ . Beban lantai dua sebesar  $36403,8 \text{ kg}$  sama dengan  $m_2 = 37,1089 \text{ kgs}^2/\text{cm}$ . Kekakuan Arah X lantai satu  $k_1 = 28202,649 \text{ kg/cm}$  dan lantai dua  $k_2 = 29000,604 \text{ kg/cm}$ . Untuk mencari *mode shape* dilakukan perhitungan:



**Gambar 4.14** Model matematis rumah dua lantai arah X

$$\begin{aligned} 67,961\ddot{x}_1 + 28202,649x_1 &= f(t)_1 \\ 37,1089\ddot{x}_2 + 29000,604x_2 &= f(t)_2 \end{aligned} \quad (4-1)$$

Dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} 67,961 & 0 \\ 0 & 37,1089 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 28202,649 + 29000,604 & -29000,604 \\ -29000,604 & 29000,604 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t)_1 \\ f(t)_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Bila  $\ddot{x} = -\omega^2 x$ , maka

$$\begin{bmatrix} 28202,649 + 29000,604 - \omega^2 67,961 & -29000,604 \\ -29000,604 & 29000,604 - \omega^2 37,1089 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4-2)$$

Nilai  $\omega$  didapatkan dengan determinan matriks

$$\begin{vmatrix} 28202,649 + 29000,604 - \omega^2 67,961 & -29000,604 \\ -29000,604 & 29000,604 - \omega^2 37,1089 \end{vmatrix} = 0$$

$$\begin{aligned} (67,961 \times 37,1089)\omega^4 + (-67,961 \times 29000,604 - 37,1089 \times (28202,649 + 29000,604))\omega^2 \\ + (28202,649 + 29000,604) \times 29000,604 - (-29000,604)^2 = 0 \end{aligned}$$

$$2521,9641\omega^4 - 4093664,5051\omega^2 + 817893855,1579 = 0$$

$$\begin{array}{llll}
 \omega_1^2 = & 233,3376 \text{ (rad/s)}^2 & \omega_1 = & 15,2754 \text{ rad/s} & T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = & 0,4113 \text{ s} \\
 \omega_2^2 = & 1389,8673 \text{ (rad/s)}^2 & \omega_2 = & 37,281 \text{ rad/s} & T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = & 0,1685 \text{ s}
 \end{array}$$

Mencari perpindahan ( $x = \Phi$ ) *Mode Shape 1* ( $\omega_1 = 15,2754 \text{ rad/s}$ )

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 - \omega_1^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - \omega_1^2 m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 41345,344 & -29000,6038 \\ -29000,6038 & 20341,71 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dengan asumsi bahwa  $\Phi_{21}=1$ , maka

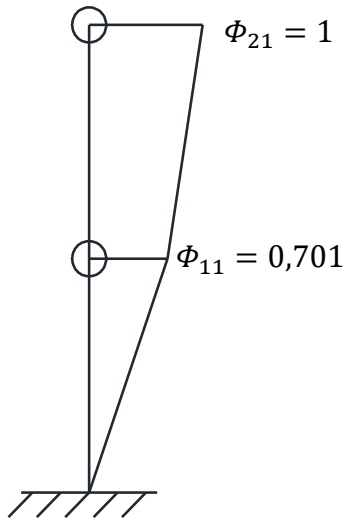
$$\begin{bmatrix} 41345,344 & -29000,6038 \\ -29000,6038 & 20341,71 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$41345,344 - 29000,6038\Phi_{11} = 0$$

$$29000,6038\Phi_{11} = 41345,344$$

$$\Phi_{11} = \frac{41345,344}{29000,6038} = 0,701$$

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,701 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



**Gambar 4.15** *Mode shape 1 arah X*

Mencari perpindahan ( $x = \Phi$ ) *Mode Shape 2* ( $\omega_2 = 37,281 \text{ rad/s}$ )

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 - \omega_2^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - \omega_2^2 m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -37253,829 & -29000,6038 \\ -29000,6038 & -22575,799 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dengan asumsi bahwa  $\Phi_{22}=1$ , maka

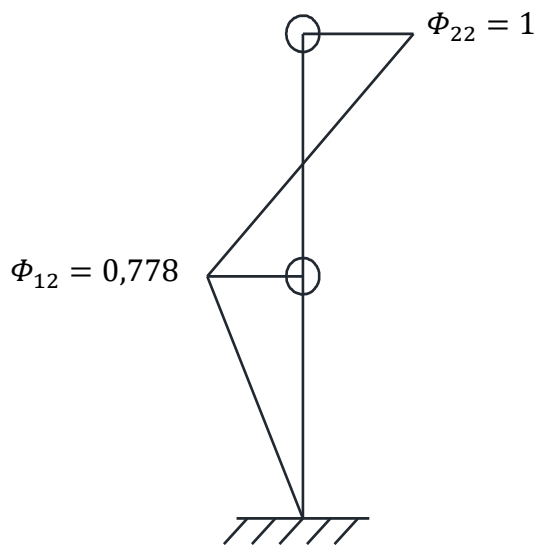
$$\begin{bmatrix} -37253,829 & -29000,6038 \\ -29000,6038 & -22575,799 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{12} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$-37253,829 - 29000,6038\phi_{12} = 0$$

$$29000,6038\phi_{12} = -37253,829$$

$$\phi_{12} = \frac{-37253,829}{29000,6038} = -0,778$$

$$\begin{Bmatrix} \phi_{12} \\ \phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0,778 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



**Gambar 4.16** Mode shape 2 arah X

Setelah perpindahan untuk setiap lantai dan *mode shape* diketahui, pembagian beban gempa ke setiap lantai dilakukan dengan analisis respon spektrum dengan data yang telah tercantum pada bab 2.8.1. Perhitungan faktor partisipasi mode untuk arah X dapat dilihat pada tabel 4.5.

$$SD_s (g) = 0,567$$

$$SD_1 (g) = 0,324$$

$$T_0 (s) = 0,114$$

$$T_s (s) = 0,571$$

$$I = 1 \text{ (Tabel 1 SNI 1726:2012)}$$

$$R = 1,25 \text{ (Tabel 9 SNI 1726:2012)}$$

$$T_1 (s) = 0,4113 \quad T_2 (s) = 0,1685$$

Karena  $T_0 > T_1 = T_2 > T_s$ , maka  $S_a = SD_s = 0,567$

$$\text{Sehingga } A_1 = A_2 = \frac{I \times S_a (g)}{R} = \frac{1 \times 0,567 \times 9,81}{1,25} = 444,9816 \text{ cm/s}^2$$

**Tabel 4.5** Perhitungan faktor partisipasi mode arah X

Lantai (i)	$m_i$	$\phi_{i1}$	$m_i \cdot \phi_{i1}$	$m_i \cdot (\phi_{i1})^2$	$\phi_{i2}$	$m_i \cdot \phi_{i2}$	$m_i \cdot (\phi_{i2})^2$
1	67,961	0,701424	47,6696	33,4366	-0,7785	-52,9051	41,1845
2	37,1089	1	37,1089	37,1089	1	37,1089	37,1089
$\Sigma$	105,070		84,7785	70,5455		-15,7962	78,2933

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_1 = \frac{\Sigma m_i \cdot \phi_{i1}}{\Sigma m_i \cdot (\phi_{i1})^2} = \frac{84,7785}{70,5455} = 1,2018$$

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_2 = \frac{\Sigma m_i \cdot \phi_{i2}}{\Sigma m_i \cdot (\phi_{i2})^2} = \frac{-15,7962}{78,2933} = -0,2018$$

Gaya gempa f untuk lantai i mode k didapatkan dengan

$f_{ik} =$	$A \text{ (cm/s}^2\text{)}$	$\times \phi_{ik}$	$\times P_k$	$\times M_i \text{ (kg.s}^2\text{/cm)}$	
f11 =	444,9816	0,7014	1,2018	67,961	= 25491,783 kg
f12 =	444,9816	-0,7785	-0,2018	67,961	= 4749,712 kg
f21 =	444,9816	1	1,2018	37,1089	= 19844,324 kg
f22 =	444,9816	1	-0,2018	37,1089	= -3331,561 kg

Gaya gempa yang terjadi kemudian didistribusikan ke setiap dinding yang menyokong satu kesatuan lantai dengan kekakuan sebagai acuan. Gaya gempa yang diterima setiap dinding dapat dilihat pada tabel 4.6.

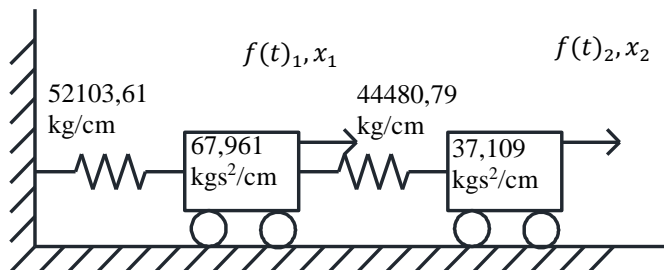


**Tabel 4.6** Gaya gempa pada dinding arah X

No.	k kg/cm	Persentase	Mode 1 Kg	Mode 2 Kg	Keterangan
1	16735,250	59,339%	15126,64	2818,45	
2	7914,000	28,061%	7153,30	1332,83	
3	1,192	0,004%	1,08	0,20	
4	2777,938	9,850%	2510,92	467,84	
5	3,012	0,011%	2,72	0,51	
6	1,192	0,004%	1,08	0,20	Lantai 1
7	3,012	0,011%	2,72	0,51	
8	43,599	0,155%	39,41	7,34	
9	447,020	1,585%	404,05	75,28	
10	276,434	0,980%	249,86	46,56	
Jumlah	28202,649	100%	25491,7826	4749,712	
1	16735,250	57,707%	11451,48	-1922,53	
2	7914,000	27,289%	5415,33	-909,15	
3	1,192	0,004%	0,82	-0,14	
4	2777,938	9,579%	1900,87	-319,13	
5	1,192	0,004%	0,82	-0,14	Lantai 2
6	1121,000	3,865%	767,07	-128,78	
7	447,020	1,541%	305,88	-51,35	
8	3,012	0,010%	2,06	-0,35	
Jumlah	29000,604	100%	19844,3237	-3331,56	

#### 4.2.1 Arah Y

Dengan memperhitungkan gravitasi sebesar  $981 \text{ cm/s}^2$ , beban lantai satu sebesar  $66669,96 \text{ kg}$  sama dengan  $m_1 = 67,961 \text{ kgs}^2/\text{cm}$ . Beban lantai dua sebesar  $36403,8 \text{ kg}$  sama dengan  $m_2 = 37,1089 \text{ kgs}^2/\text{cm}$ . Kekakuan Arah Y lantai satu  $k_1 = 52103,61 \text{ kg/cm}$  dan lantai dua  $k_2 = 44480,79 \text{ kg/cm}$ . Untuk mencari *mode shape* dilakukan perhitungan:

**Gambar 4.17** Model matematis rumah dua lantai arah Y

$$\begin{aligned} 67,961\ddot{x}_1 + 52103,61x_1 &= f(t)_1 \\ 37,1089\ddot{x}_2 + 44480,79x_2 &= f(t)_2 \end{aligned} \quad (4-1)$$

Dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} 67,961 & 0 \\ 0 & 37,1089 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 52103,61 + 44480,79 & -44480,79 \\ -44480,79 & 44480,79 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t)_1 \\ f(t)_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Bila  $\ddot{x} = -\omega^2 x$ , maka

$$\begin{bmatrix} 52103,61 + 44480,79 - \omega^2 67,961 & -44480,79 \\ -44480,79 & 44480,79 - \omega^2 37,1089 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4-2)$$

Nilai  $\omega$  didapatkan dengan determinan matriks

$$\begin{vmatrix} 52103,61 + 44480,79 - \omega^2 67,961 & -44480,79 \\ -44480,79 & 44480,79 - \omega^2 37,1089 \end{vmatrix} = 0$$

$$\begin{aligned} (67,961 \times 37,1089) \omega^4 + (-67,961 \times 44480,79 - 37,1089 \times (52103,61 + 44480,79)) \omega^2 \\ + (52103,61 + 44480,79) \times 44480,79 - (-44480,79)^2 = 0 \end{aligned}$$

$$2521,9641 \omega^4 - 6607106,7036 \omega^2 + 2317609729,1942 = 0$$

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= 417,2194 \text{ (rad/s)}^2 & \omega_1 &= 20,426 \text{ rad/s} & T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} &= 0,3076 \text{ s} \\ \omega_2^2 &= 2202,606 \text{ (rad/s)}^2 & \omega_2 &= 46,932 \text{ rad/s} & T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} &= 0,1339 \text{ s} \end{aligned}$$

Mencari perpindahan ( $x = \Phi$ ) *Mode Shape* 1 ( $\omega_1 = 20,426 \text{ rad/s}$ )

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 - \omega_1^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - \omega_1^2 m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 68229,659 & -44480,8 \\ -44480,8 & 28998,25 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dengan asumsi bahwa  $\Phi_{21}=1$ , maka

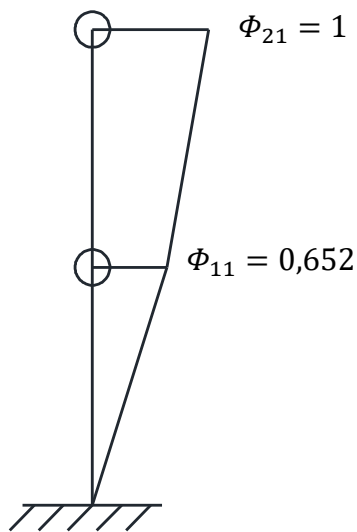
$$\begin{bmatrix} 68229,659 & -44480,8 \\ -44480,8 & 28998,25 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$68229,659 - 44480,8 \Phi_{11} = 0$$

$$44480,8 \Phi_{11} = 68229,659$$

$$\Phi_{11} = \frac{68229,659}{44480,8} = 0,652$$

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,652 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



**Gambar 4.18** Mode shape 1 arah Y

Mencari perpindahan ( $x = \Phi$ ) Mode Shape 2 ( $\omega_2 = 46,932 \text{ rad/s}$ )

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 - \omega_2^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - \omega_2^2 m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -53107,425 & -44480,8 \\ -44480,8 & -37255,441 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dengan asumsi bahwa  $\Phi_{21}=1$ , maka

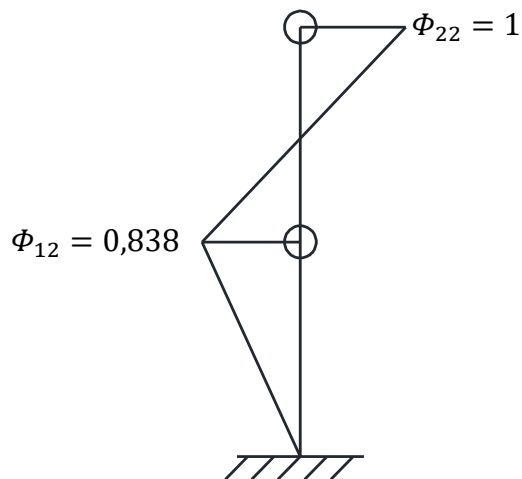
$$\begin{bmatrix} -53107,425 & -44480,8 \\ -44480,8 & -37255,441 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$-53107,425 - 44480,8\Phi_{12} = 0$$

$$44480,8\Phi_{12} = -53107,425$$

$$\Phi_{12} = \frac{-53107,425}{44480,8} = -0,838$$

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0,838 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



**Gambar 4.19** Mode shape 2 arah Y

Setelah perpindahan untuk setiap lantai dan *mode shape* diketahui, pembagian beban gempa ke setiap lantai dilakukan dengan analisis respon spektrum dengan data yang telah tercantum pada bab 2.8.1. Perhitungan faktor partisipasi mode untuk arah X dapat dilihat pada tabel 4.7.

$$\begin{aligned}SD_s (g) &= 0,567 \\SD_1 (g) &= 0,324 \\T_0 (s) &= 0,114 \\T_s (s) &= 0,571\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I &= 1 \text{ (Tabel 1 SNI 1726:2012)} \\R &= 1,25 \text{ (Tabel 9 SNI 1726:2012)} \\T_1 (s) &= 0,3076 \qquad T_2 (s) = 0,1339\end{aligned}$$

Karena  $T_0 > T_1 = T_2 > T_s$ , maka  $S_a = SD_s = 0,567$

$$\text{Sehingga } A_1 = A_2 = \frac{I \times S_a (g)}{R} = \frac{1 \times 0,567 \times 9,81}{1,25} = 444,9816 \text{ cm/s}^2$$

**Tabel 4.7** Perhitungan mode partisipasi faktor arah Y

Lantai (i)	$m_i$	$\phi_{i1}$	$m_i \cdot \phi_{i1}$	$m_i \cdot (\phi_{i1})^2$	$\phi_{i2}$	$m_i \cdot \phi_{i2}$	$m_i \cdot (\phi_{i2})^2$
1	67,961	0,651927	44,3058	28,8842	-0,8376	-56,9218	47,6755
2	37,1089	1	37,1089	37,1089	1	37,1089	37,1089
$\Sigma$	105,070		81,4147	65,9930		-19,8129	84,7844

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_1 = \frac{\Sigma m_i \cdot \phi_{i1}}{\Sigma m_i \cdot (\phi_{i1})^2} = \frac{81,4147}{65,993} = 1,2337$$

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_2 = \frac{\Sigma m_i \cdot \phi_{i2}}{\Sigma m_i \cdot (\phi_{i2})^2} = \frac{-19,8129}{84,7844} = -0,2337$$

Gaya gempa  $f$  untuk lantai  $i$  mode  $k$  didapatkan dengan

$$f_{ik} = A \text{ (cm/s}^2\text{)} \times \phi_{ik} \times P_k \times M_i \text{ (kg.s}^2\text{/cm)}$$

$f_{11} =$	444,9816	0,6519	1,2337	67,961	=	24322,436 kg
$f_{12} =$	444,9816	-0,8376	-0,2337	67,961	=	5919,059 kg
$f_{21} =$	444,9816	1	1,2337	37,1089	=	20371,560 kg
$f_{22} =$	444,9816	1	-0,2337	37,1089	=	-3858,797 kg

Gaya gempa yang terjadi kemudian didistribusikan ke setiap dinding yang menyokong satu kesatuan lantai dengan kekakuan sebagai acuan. Gaya gempa yang diterima setiap dinding dapat dilihat pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Gaya gempa pada dinding arah Y

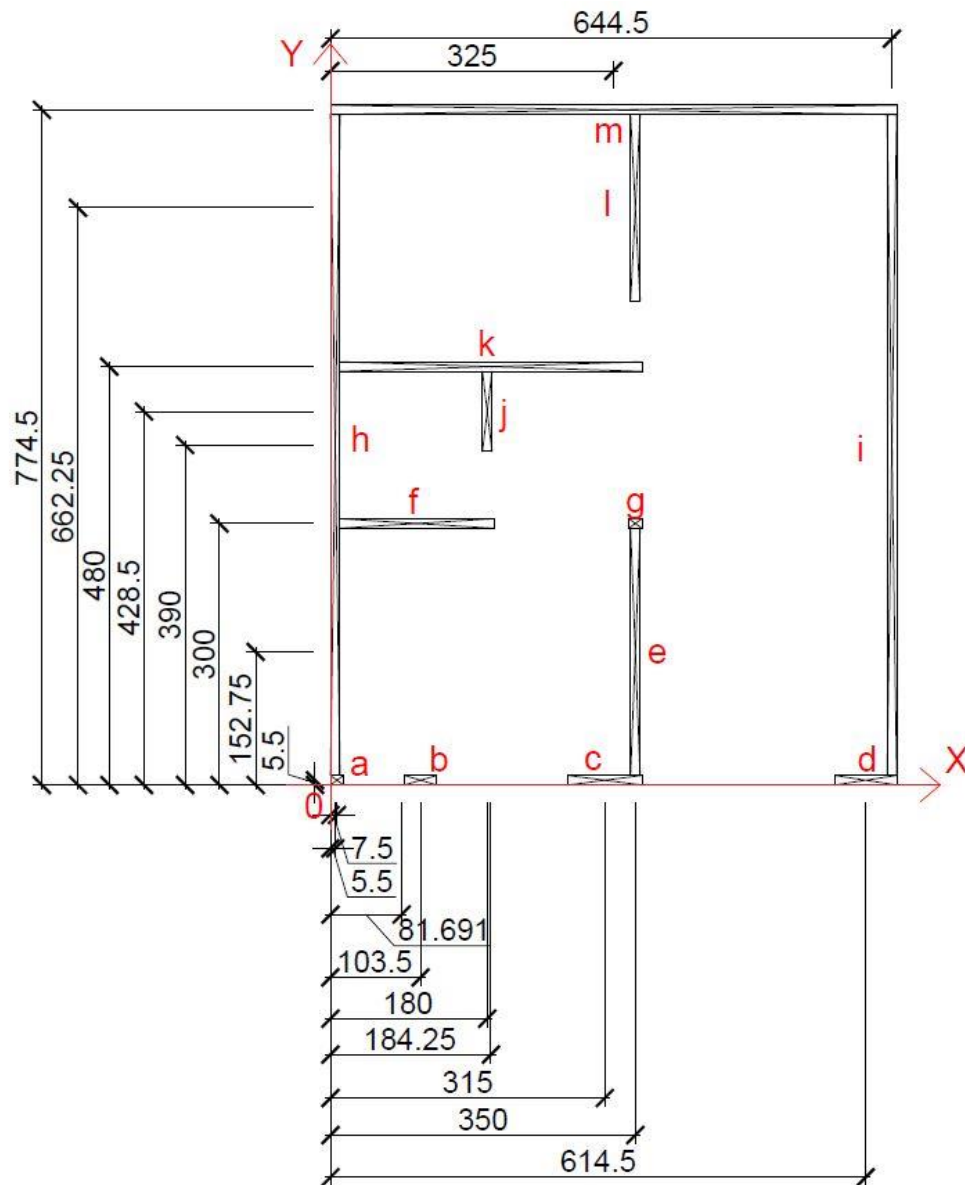
No.	k kg/cm	Persentase	Mode 1 Kg	Mode 2 Kg	Keterangan
1	20506,992	39,358%	9572,85	2329,63	Lantai 1
2	3867,477	7,423%	1805,37	439,35	
3	20506,992	39,358%	9572,85	2329,63	
4	858,526	1,648%	400,77	97,53	
5	6363,623	12,213%	2970,60	722,92	
Jumlah	52103,610	100%	24322,4357	5919,059	
1	20506,992	46,103%	9391,91	-1779,02	Lantai 2
2	3867,477	8,695%	1771,25	-335,51	
3	16237,652	36,505%	7436,61	-1408,65	
4	3867,477	8,695%	1771,25	-335,51	
5	1,192	0,003%	0,55	-0,10	
Jumlah	44480,790	100%	20371,5604	-3858,8	

### 4.3 Tegangan Dinding

Setelah kedua arah gaya gempa setiap lantai dan mode diketahui, gaya-gaya tersebut di distribusikan ke masing-masing dinding untuk kemudian dihitung tegangannya. Keadaan rumah bisa dikatakan hampir mustahil untuk tidak menimbulkan eksentrisitas, maka dari itu eksentrisitas turut diperhitungkan mengingat momen yang ditimbulkan akibat gaya gempa mempunyai dampak yang signifikan terhadap rumah. Dapat dilihat melalui perhitungan yang sudah dilakukan bahwa lantai satu menerima beban lebih besar daripada lantai dua dengan kekakuan yang juga lebih besar, oleh sebab itu dapat diketahui bahwa tegangan terbesar yang akan terjadi adalah pada lantai satu. Sehingga perhitungan yang dilakukan hanya lantai satu untuk kemudian menentukan tegangan dinding mana yang terbesar.

#### 4.3.1 Eksentrisitas

Selisih antara pusat kekakuan dan pusat berat merupakan lengan dari gaya gempa pada pusat berat terhadap pusat kekakuan. Untuk mencari pusat kekakuan dan pusat berat, gambar 4.20 menunjukkan jarak dari acuan sumbu 0,0 (x,y) ke setiap titik pusat dinding yang kemudian di tabelkan pada tabel 4.9 dan tabel 4.10.



**Gambar 4.20** Jarak titik pusat kekakuan dan berat dinding

**Tabel 4.9** Perhitungan titik pusat berat lantai

Dinding	X (cm)	Y (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Berat (kg)	X x Berat	Y x Berat
a	7,5	5,5	165	222,4139	1668,1042	1223,276
b	103,5	5,5	407	548,6209	56782,2676	3017,415
c	315	5,5	935	1260,3454	397008,8043	6931,9
d	614,5	5,5	781	1052,7591	646920,4717	5790,175
e	350	152,75	3118,5	4203,6226	1471267,922	642103,4
f	99,25	300	1941,5	2617,0702	259744,215	785121,1
g	350	300	165	222,4139	77844,8636	66724,17
h	5,5	390	8338	11239,3155	61816,2355	4383333
i	644,5	390	8338	11239,3155	7243738,868	4383333
j	184,25	428,5	1012	1364,1386	251342,5301	584533,4
k	180	480	3811,5	5137,7610	924796,9795	2466125
l	350	662,25	2546,5	3432,5878	1201405,728	2273231
m	325	774,5	7150	9637,9355	3132329,035	7464581
$\Sigma$			38709	52178,3	15726666,0252	23066048,4291

Titik pusat berat lantai dihitung dengan

$$X = \frac{\Sigma(\text{Jarak titik pusat } X \times \text{Berat})}{\Sigma \text{ Berat dinding}} = \frac{15726666,0252}{52178,3} = 301,402 \text{ cm dari titik acuan}$$

$$Y = \frac{\Sigma(\text{Jarak titik pusat } Y \times \text{Berat})}{\Sigma \text{ Berat dinding}} = \frac{23066048,4291}{52178,3} = 442,026 \text{ cm dari titik acuan}$$

**Tabel 4.10** Perhitungan titik pusat kekakuan lantai

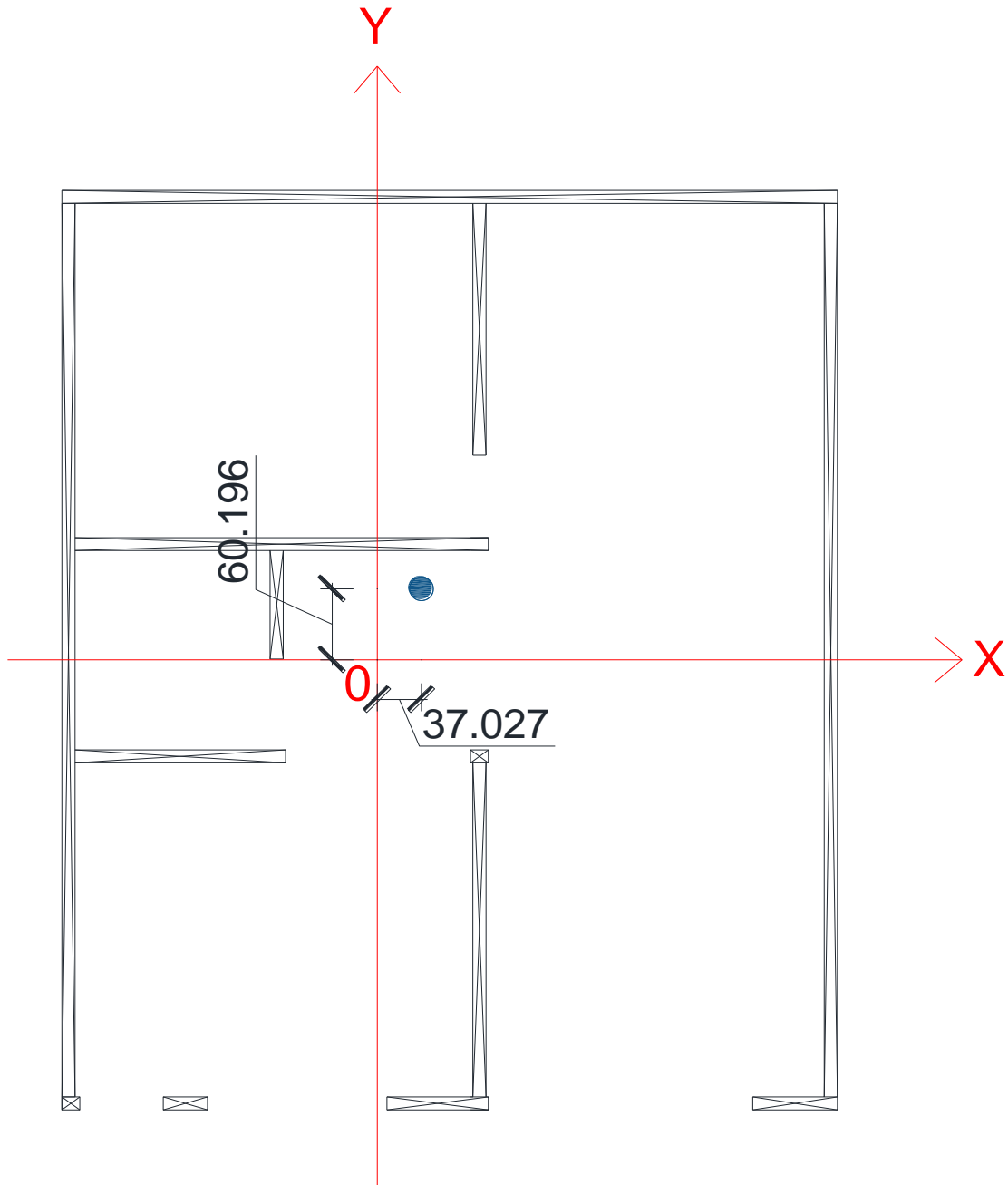
Dinding	X (cm)	Y (cm)	Kekakuan X (Kg/cm)	Kekakuan Y (Kg/cm)	X x Kekakuan X	Y x kekakuan Y
a	7,5	5,5	3,01	0	22,5931	0
b	103,5	5,5	43,60	0	4512,5165	0
c	315	5,5	447,02	0	140811,3109	0
d	614,5	5,5	276,43	0	169868,7997	0
e	350	152,75	0	6363,62	0	972043,3735
f	99,25	300	2777,94	0	275710,315	0
g	350	300	3,01	0	1054,3430	0
h	5,5	390	0	20506,99	0	7997726,969
i	644,5	390	0	20506,99	0	7997726,969
j	184,25	428,5	0	858,53	0	367878,2039
k	180	480	7914,00	0	1424519,912	0
l	350	662,25	0	3867,48	0	2561236,596
m	325	774,5	16735,25	0	5438956,155	0
$\Sigma$			28200,2651	52103,6097	7455455,9450	19896612,1106

Titik pusat kekakuan lantai dihitung dengan

$$X = \frac{\sum(\text{Jarak titik pusat } X \times \text{Kekakuan } X)}{\sum \text{Kekakuan } X} = \frac{7455455,945}{28200,2651} = 264,375 \text{ cm dari titik acuan}$$

$$Y = \frac{\sum(\text{Jarak titik pusat } Y \times \text{Kekakuan } Y)}{\sum \text{Kekakuan } Y} = \frac{19896612,1106}{52103,6097} = 381,866 \text{ cm dari titik acuan}$$

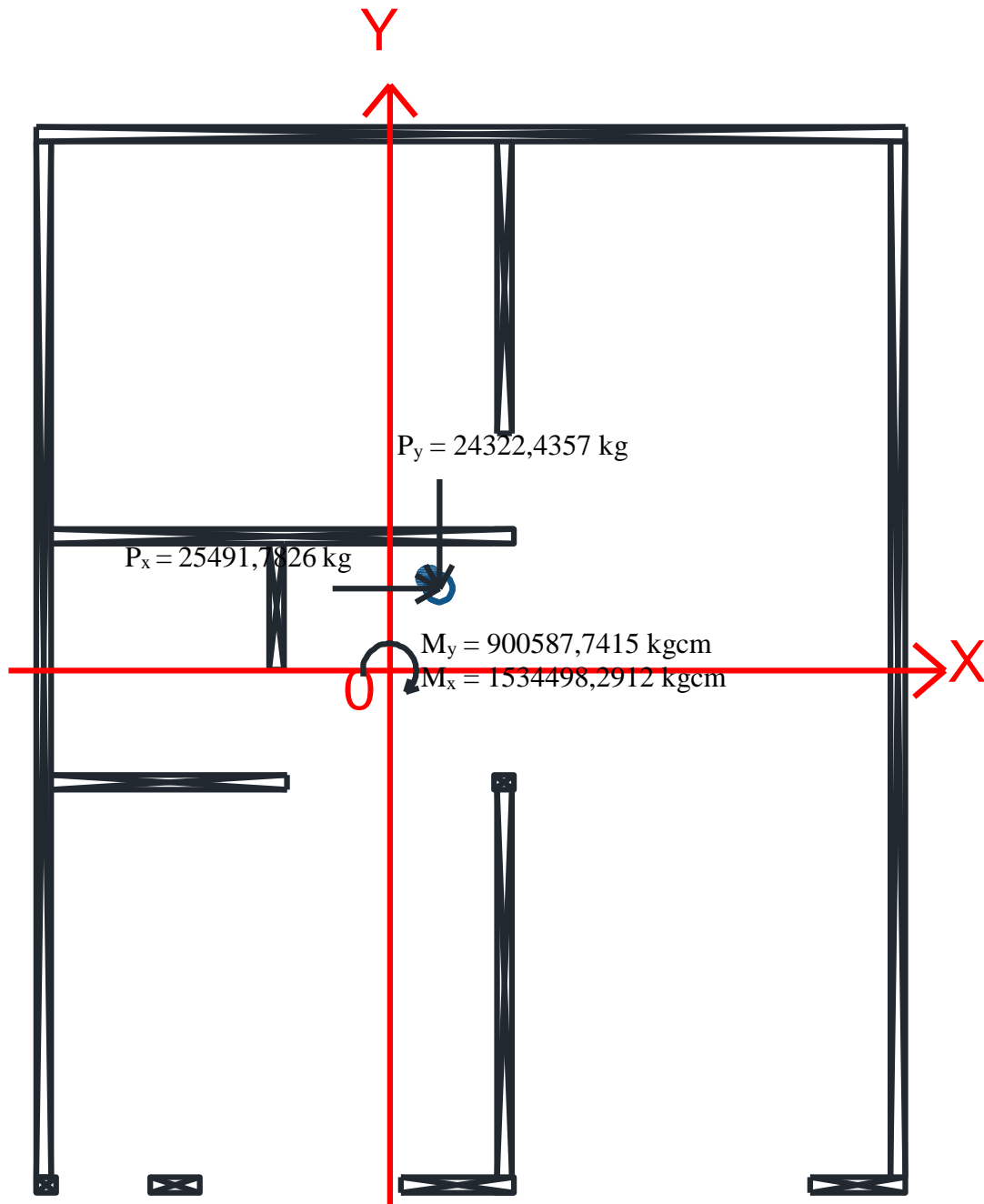
Eksentrisitas yang ditimbulkan seperti yang ditampilkan pada gambar 4.21 dengan lingkaran biru adalah pusat berat lantai terhadap titik kekakuan sumbu x,y (0,0). Eksentrisitas horisontal,  $x = 37,027$  cm dan vertikal,  $y = 60,196$  cm.



**Gambar 4.21** Eksentrisitas lantai



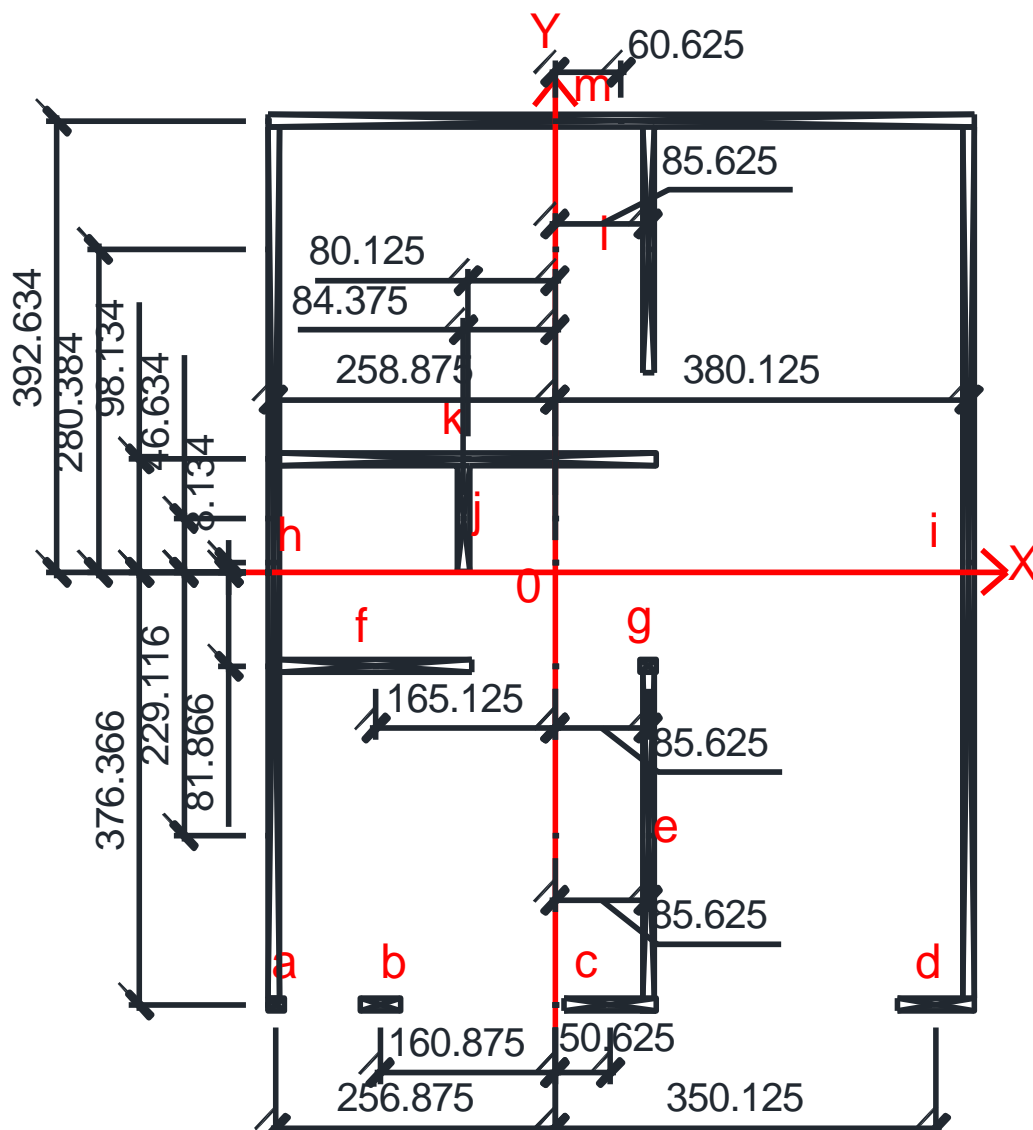
Dengan gaya gempa terbesar yaitu lantai satu mode satu, gaya arah y sebesar 24322,4357 kg, dengan adanya eksentrisitas timbul Momen terhadap sumbu y,  $M_y$  sebesar  $24322,4357 \text{ kg} \times 37,027 \text{ cm} = 900587,7415 \text{ kgcm}$ . Gaya arah x sebesar 2549,17826 kg maka, momen terhadap sumbu x,  $M_x$  yang timbul sebesar  $2549,17826 \text{ kg} \times 60,196 \text{ cm} = 1534498,2912 \text{ kgcm}$ , gambar 4.22 menunjukkan bagaimana momen bisa terjadi.



**Gambar 4.22** Momen akibat eksentrisitas

### 4.3.2 Distribusi tegangan

Tegangan geser yang diterima oleh dinding merupakan gabungan dari gaya gempa murni ( $P_v$ ) yang didapat pada bab 4.2 dan gaya momen yang muncul akibat eksentrisitas ( $P_m$ ). Dengan pusat kekakuan sebagai acuan, maka momen yang timbul di distribusikan ke setiap dinding dengan jarak seperti pada gambar 4.23. Gaya terbesar ada pada arah Y dengan momen  $M_x$ , sehingga perhitungan dilakukan dengan 100% arah Y dan 30% arah X. Momen yang terjadi menjadi  $1534498,2912 + 0,3 \times 900587,7415 = 1804674,6137$  kgcm. Perhitungan hingga didapat tegangan geser pada setiap dinding dapat dilihat pada tabel 4.11 dan tabel 4.12.



**Gambar 4.23** Jarak antara pusat dinding dan pusat kekakuan lantai

$$\begin{aligned}
 &100\% \text{ Momen X} \quad + \quad 30\% \text{ Momen Y} \quad = \\
 &1 \times 1534498,2912 \quad + \quad 0,3 \times 900587,7415 \quad = 1804674,6137 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.11** Distribusi gaya untuk setiap dinding

Dinding	x (cm)	y (cm)	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	P <sub>M</sub> (Kg)	Koefisien	P <sub>V</sub> (kg)	P = Koefisien x P <sub>V</sub> + P <sub>M</sub> (Kg)
a	-256,875	-376,366	65984,766	141651,366	-1594,880	0,3	2,723	-1594,063
b	-160,875	-376,366	25880,766	141651,366	-1244,885	0,3	39,408	-1233,062
c	50,625	-376,366	2562,891	141651,366	-473,801	0,3	404,052	-352,586
d	350,125	-376,366	122587,516	141651,366	618,112	0,3	249,863	693,071
e	85,625	-229,116	7331,641	52494,141	-88,617	1	2970,597	2881,979
f	-165,125	-81,866	27266,266	6702,042	-745,217	0,3	2510,920	8,059
g	85,625	-81,866	7331,641	6702,042	168,964	0,3	2,7229	169,781
h	-258,875	8,134	67016,266	66,162	-929,574	1	9572,849	8643,275
i	380,125	8,134	144495,016	66,162	1400,083	1	9572,849	10972,932
j	-84,375	46,634	7119,141	2174,730	-226,037	0,3	400,767	-105,807
k	-80,125	98,134	6420,016	9630,282	-120,455	0,3	7153,298	2025,535
l	85,625	280,384	7331,641	78615,187	802,640	1	1805,373	2608,013
m	60,625	392,634	3675,391	154161,458	907,852	0,3	15126,641	5445,844
		Σ =	495002,953	877217,670				

**Tabel 4.12** Tegangan geser dinding

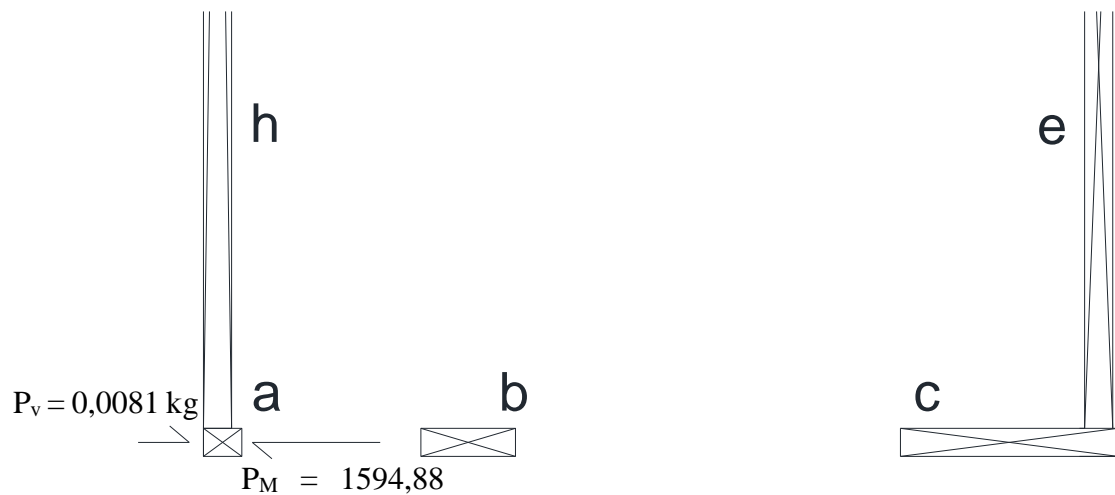
Dinding	P (Kg)	b (cm)	h (cm)	Tegangan Geser (kg/cm <sup>2</sup> )
a	1594,063	11	15	9,6610
b	1233,062	11	37	3,0296
c	352,586	11	85	0,3771
d	693,071	11	71	0,8874
e	2881,979	11	306	0,8562
f	8,059	11	188	0,0039
g	169,781	11	15	1,0290
h	8643,275	11	780	1,0074
i	10972,932	11	780	1,2789
j	105,807	11	110	0,0874
k	2025,535	11	356	0,5172
l	2608,013	11	225	1,0537
m	5445,844	11	650	0,7617

Contoh perhitungan untuk dinding a:

Gaya Akibat Momen yang diterima dinding a adalah

$$P_M = \frac{M \times X}{\sum X^2} + \frac{M \times Y}{\sum Y^2} = \frac{1804674,6137 \times -256,875}{495002,953} + \frac{1804674,6137 \times -376,366}{877217,67} = -1594,88 \text{ kg}$$

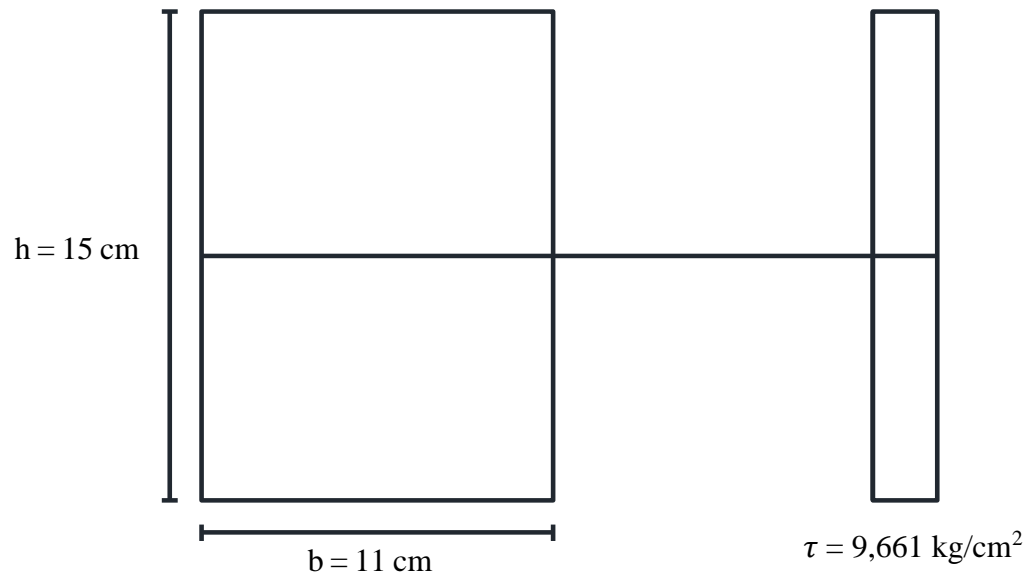
$$\text{Koefisien} \times P_V + P_M = 0,3 \times 0,027 - 1594,88 = -1594,063 \text{ kg}$$

**Gambar 4.24** Gaya pada dinding a

Dengan dimensi  $b = 11 \text{ cm}$  dan  $h = 15 \text{ cm}$ ,

Tegangan Geser dinding a,

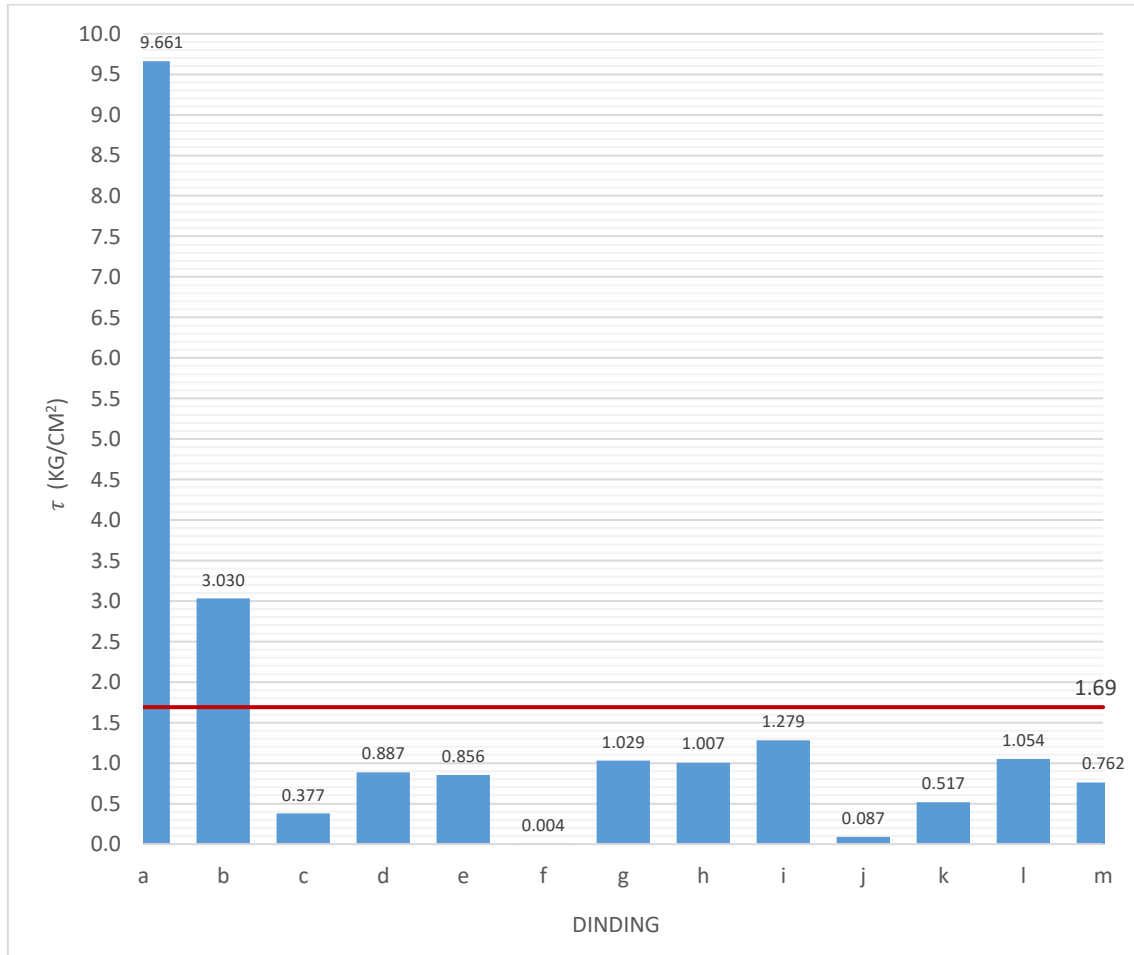
$$\tau = \frac{P}{b \times h} = \frac{1594,063 \text{ kg}}{11 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}} = 9,661 \text{ kg/cm}^2$$



**Gambar 4.25** Diagram tegangan geser dinding a

Tegangan geser akibat gempa di kota malang yang terjadi pada dinding a sebesar  $9,661 \text{ kg/cm}^2$ .

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan, maka dapat dilihat pada gambar 4.26 bahwa nilai tegangan terbesar yaitu pada dinding a dengan nilai sebesar 9,661 kg/cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.26** Rekapitulasi tegangan geser dinding

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan:

1. Tegangan dinding terbesar rumah dua lantai terhadap gempa di Kota Malang terjadi pada dinding A dengan nilai sebesar  $9,66 \text{ kg/cm}^2$ . Dengan gaya gempa murni 100% Arah Y dan 30% arah X sebesar  $0,0081 \text{ kg}$  dan gaya dominan akibat eksentrisitas sebesar  $1594,06 \text{ kg}$ . Rata-rata dari tegangan geser yang diterima oleh dinding pada lantai satu sebesar  $1,58 \text{ kg/cm}^2$ .
2. Berdasarkan penelitian terdahulu, tegangan geser dinding pasangan batu bata merah yang berasal dari tulungagung mempunyai rata-rata  $1,69 \text{ kg/cm}^2$ , sehingga saat menerima tegangan geser sebesar  $9,66 \text{ kg/cm}^2$  akan berdampak pada runtuhnya dinding. Dapat dikatakan bahwa dinding A akan mengalami keruntuhan terlebih dahulu saat terjadi gempa. Namun demikian dalam kenyataannya, yang disebut dinding A dalam penelitian ini merupakan kolom beton bertulang yang tentunya mempunyai karakteristik berbeda.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan seluruh proses dalam penelitian ini, maka penulis memberikan beberapa saran yang bisa dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya guna memperbaiki kekurangan yang ada, antara lain:

1. Perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan perhitungan manual sederhana, perhitungan dengan program analisis komputer disarankan sebagai pembandingan yang lebih teliti dan akurat.
2. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kombinasi denah yang beraneka ragam hingga ditemukan suatu batasan yang aman untuk rumah tahan gempa.
3. Dalam penelitian ini, material yang digunakan diasumsikan homogen isotropis yaitu pasangan batu bata merah. Sifat material yang sesungguhnya beraneka ragam dapat digunakan, disarankan turut diperhitungkan agar lebih mendekati keadaan rumah asli.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR PUSTAKA

- Arya C. (1994). *Design of Structural Elements*. E & FN Spon, London.
- ASTM C67-07. 2007. *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*. West Conshohocken. PA 19426-2959. United States.
- EERI & IAEE. (2011). *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings*. Earthquake Engineering Research Institute. Oakland ([www.confinedmasonry.org](http://www.confinedmasonry.org)). (di akses 22 Oktober 2017).
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the Seismic rehabilitation of buildings*.
- Indrawahyuni, Dewi, S.M., dan Prastumi. (2015). *Mekanika Bahan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- PUBLI. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Palupi K.A. **Optimalisasi Penggunaan Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan Dinding Pasangan Bata Merah**. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Paz, Mario. (1990). *Dinamika Struktur Teori & Perhitungan*. Jakarta: Erlangga.
- Puskim PU. (2017). *Desain Spektra Indonesia*. [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/). (diakses 20 November 2017).
- SII.0021-78, **Mutu dan Cara Uji Bata Merah Pejal**, Departemen Perindustrian, Republik Indonesia.
- SNI 15-2094-1991. **Mutu dan Cara Uji Bata Merah Pejal**. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Indonesia: BSN.
- SNI 1726:2002. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung**. Indonesia: BSN
- SNI 1726:2012. **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung**. Indonesia: BSN.
- SNI 1727:2013. **Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain**. Indonesia: BSN.
- Wisnumurti, Dewi, S.M., dan Soehardjono, A. (2011). *Masonry Behavior of Local Brick from East-java Indonesia*. *Journal of Applied Sciences Research*. 7(6): pp. 849-852.
- Wisnumurti, Dewi, S.M., dan Soehardjono, A (2013). *Investigation of Elasticity, Compression and Shear Strength of Masonry Wall from Indonesian Clay Brick*. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* Vol. 3 pp. 259-263. ISSN: 2248-9622.

Wisnumurti, dan Dewi, S.M. (2011). *Characteristics Clay Brick Masonry from Malang Region*. Malang: Pusat Penelitian Universitas Brawijaya.

Yonathan L.C. **Perbandingan Nilai Rasio Poisson Mortar dan Batu Bata yang Berasal dari Beberapa Kota di Jawa Timur Terhadap Nilai Rasio Poisson dari Pasangan Batu Bata**. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.